

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Tin Pušić

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Neven Duić, dipl. ing.

Student:

Tin Pušić

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem **prof. dr. sc. Nevenu Duiću** na pruženoj prilici za izradu ovog završnog rada. Velika zahvala asistentima **Tomislavu Novoselu** i **Matiji Pavičeviću** te kolegama **Borni Doračiću** i **Hrvoju Dorotiću** na stručnoj i nesebičnoj pomoći prilikom izrade ovog rada.

Zahvaljujem se svojim roditeljima i obitelji što mi je omogućila školovanje te bila podrška tijekom njega. Također se zahvaljujem svojoj djevojci Anđeli i svojim prijateljima koji su mi davali podršku za vrijeme pisanja ovoga rada i studiranja.

Tin Pušić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

ZAVRŠNI ZADATAK

Student: Tin Pušić

Mat. br.: 0035197107

Naslov rada na
hrvatskom jeziku:

**Tehno-ekonomska analiza implementacije malog obnovljivog
centraliziranog toplinskog sustava u gradu Ozlju**

Naslov rada na
engleskom jeziku:

**Techno-economic analysis of the implementation of a small renewable
district heating system in the city of Ozalj**

Opis zadatka:

Sektor grijanja i hlađenja najintenzivniji je sektor u Europskoj Uniji te na njega otpada polovica ukupne potrošnje energije. U svrhu uštede primarne energije u ovome sektoru, a samim time i smanjenja utjecaja na okoliš, korištenje centraliziranih toplinskih sustava (CTS) se nameće kao iznimno važan faktor. Primjenom otpadne topline iz raznih izvora te obnovljivih izvora energije, poput geotermalne energije, lokalne biomase i solarne energije, moguće je ostvariti dodatni rast spomenutih ušteda. Važnost CTS-a je i u kontekstu planiranja budućih, fleksibilnih energetskih sustava pri čemu se korištenjem tehnologija za pretvorbu električne energije u toplinsku, poput dizalica topline i električnih grijača, zajedno s toplinskim spremnikom omogućuje integracija elektroenergetskog sektora sa sektorom grijanja i hlađenja. Cilj ovoga rada je provedba tehno-ekonomske analize implementacije malog obnovljivog CTS-a u gradu Ozlju.

U sklopu ovoga rada će se:

1. Napraviti detaljan pregled literature u području korištenja CTS-a u Europskoj Uniji i Republici Hrvatskoj, s naglaskom na male sustave koji koriste obnovljive izvore energije;
2. Prikupiti podatke o energetske potrošnji te izračunati i mapirati toplinske potrebe grada Ozlja;
3. Na temelju izračunatih vrijednosti predložiti dvije alternativne distribucije mreže toplovoda te odrediti potreban kapacitet proizvodnih postrojenja za predložene distribucije;
4. Za ekonomski isplativiju verziju distribucije mreže toplovoda predložiti dvije alternative proizvodnih postrojenja, bazirajući se na obnovljivim izvorima energije;
5. Izraditi tehno-ekonomsku analizu predloženih alternativa proizvodnih postrojenja te izračunati uštede u emisijama CO₂.

Potrebni podaci i literatura se mogu dobiti kod mentora. U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenog 2016.

Rok predaje rada:

1. rok: 24. veljače 2017.
2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2017.
3. rok: 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:

1. rok: 27.2. - 03.03. 2017.
2. rok (izvanredni): 30. 06. 2017.
3. rok: 25.9. - 29. 09. 2017.

Zadatak zadao:

Prof.dr.sc. Neven Duić

Predsjednik Povjerenstva:

Prof. dr. sc. Igor Balen

SADRŽAJ

SADRŽAJ	I
POPIS SLIKA	II
POPIS TABLICA.....	IV
POPIS KRATICA	V
POPIS OZNAKA	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY	VIII
1. UVOD.....	1
1.1 Europska unija u borbi protiv klimatskih promjena.....	2
1.2 Grijanje i hlađenje u Europskoj uniji	2
2. Centralizirani toplinski sustavi	5
2.1 Suštinska ideja centraliziranih toplinskih sustava.....	6
2.2 Razvoj centraliziranih toplinskih sustava	8
2.3 Centralizirani toplinski sustavi u Europi.....	11
2.4 Centralizirani toplinski sustavi u Republici Hrvatskoj	14
3. Metode	16
3.1 Mapiranje toplinskih potreba	16
3.2 Scenarijska analiza	18
3.2.1 Troškovi postrojenja	20
3.2.2 Prihodi.....	26
3.2.3 Kredit	26
3.3 Analiza osjetljivosti.....	27
3.4 Ušteda emisija ugljikovog dioksida	27
4. Opis lokacije	28
5. Rezultati.....	31
5.1 Rezultati mapiranja toplinskih potreba	31
5.2 Scenarijska analiza	33
5.2.1 Prva alternativa distribucije	34
5.2.2 Druga alternativa distribucije.....	39
5.2.3 Hibridno postrojenje	44
5.3 Analiza osjetljivosti.....	47
5.4 Ušteda emisija ugljikovog dioksida	47
6. Zaključak	50
ZAHVALA.....	51
LITERATURA.....	52
PRILOZI.....	54

POPIS SLIKA

Slika 1.	Raspodjela finalne energije za grijanje i hlađenje [7]	3
Slika 2.	Raspodjela primarne energije za grijanje i hlađenje u EU [7]	3
Slika 3.	komponente CTS-a.....	5
Slika 4.	Usporedba generacija CTS-a [12]	9
Slika 5.	Postotak kućanstva spojenih na CTS u Europi [7]	11
Slika 6.	Ukupna potrošnja energije CTS-a po sektorima i državama [7]	12
Slika 7.	Postotak instalirane snage CTS prema tehnologiji [7]	12
Slika 8.	Izvori toplinske energije na razini EU [7]	13
Slika 9.	Cijena toplinske energije iz CTS-a na razini EU [7]	13
Slika 10.	CTS u Republici Hrvatskoj [14].....	14
Slika 11.	Satne vanjske temperature.....	18
Slika 12.	Ilustracija korištenja solarnih kolektora, biomase i spremnika topline [31].	19
Slika 13.	Pločasti kolektor [24]	21
Slika 14.	Cijena cijevi u odnosu na tip cijevi	24
Slika 15.	Distribucijski toplinski gubitci u ovisnosti o promjeru toplovoda i režimu ogrjevnog medija [28]	25
Slika 16.	Zastupljenost sustava grijanja u Gradu Ozalj [17]	28
Slika 17.	Zastupljenost energenata u stambenom sektoru [16]	30
Slika 18.	Karta s katovima.....	31
Slika 19.	Karta s kategorijama.....	32
Slika 20.	Karta toplinskih potreba	33
Slika 21.	Prva alternativa distribucije	34
Slika 22.	Udio kategorija prema broju objekata prve distribucije	35
Slika 23.	Udio kategorija s obzirom na površinu prve distribucije	35
Slika 24.	Udio kategorija s obzirom na toplinske potrebe prve distribucije.....	35
Slika 25.	Toplinsko opterećenje postrojenja prve alternative u razdoblju jedne godine	36
Slika 26.	Raspodjela toplinskih podstanica prve distribucije	36
Slika 27.	Broj tipova toplovodnih cijevi prve distribucije.....	37
Slika 28.	Raspodjela troškova investicije prve alternative distribucije	38
Slika 29.	Novčani tokovi tijekom perioda planiranja za prvu alternativu distribucije	38
Slika 30.	Druga alternativa distribucije	39
Slika 31.	Udio kategorija prema broju objekata druge verzije distribucije	40
Slika 32.	Udio kategorija s obzirom na površinu druge verzije distribucije	40
Slika 33.	Udio kategorija s obzirom na toplinske potrebe druge distribucije.....	40
Slika 34.	Toplinsko opterećenje postrojenja druge alternative u razdoblju jedne godine	41
Slika 35.	Zastupljenost tipova toplinskih podstanica	42
Slika 36.	Raspodjela tipova toplovodnih cijevi prve distribucije	42
Slika 37.	Raspodjela troškova investicije druge distribucije	43
Slika 38.	Novčani tok tijekom perioda planiranja za drugu alternativu	43
Slika 39.	Satno toplinsko opterećenje.....	44
Slika 40.	Krivulja trajanja opterećenja	45
Slika 41.	Promjena razine napunjenosti spremnika.....	45
Slika 42.	Raspodjela investicijskih troškova hibridnog postrojenja.....	46
Slika 43.	Novčani tok tijekom perioda planiranja za hibridno postrojenje	46
Slika 44.	Analiza osjetljivosti	47

Slika 45.	Količina emisija za sva tri scenarija	48
Slika 46.	Količina emisija CO ₂ prema kategorijama u postojećem stanju	48
Slika 47.	Količina emisija CO ₂ prema kategorijama u predloženom scenariju.....	49

POPIS TABLICA

Tablica 1. Usporedba generacija CTS-a [12]	10
Tablica 2. Kategorije građevina i pripadajuća specifična potrošnja	16
Tablica 3. Karakteristike CTS-a na drvenu sječku [25]	20
Tablica 4. Karakteristike solarnih kolektora [25]	21
Tablica 5. Karakteristike toplinskog spremnika [25]	21
Tablica 6. Karakteristike goriva [26]	22
Tablica 7. Karakteristike toplinskih podstanice	22
Tablica 8. Katalog duplih predizoliranih cijevi tvrtke ISOPLUS [27]	23
Tablica 9. Tarifne stavke CTS Karlovac [14]	26
Tablica 10. Podaci o kreditu [30]	26
Tablica 11. Parametri potrošnje toplinske energije za javne zgrade [16]	29
Tablica 12. Parametri potrošnje toplinske energije u podsektoru komercijalnih zgrada [16] ..	29

POPIS KRATICA

Naziv kratice	Puni naziv
CHP	engl. Combined Heat and Power (kogeneracija)
COP21	engl. 21st conference of the parties (21. zasjedanje Konferencije stranaka)
CO ₂	Ugljikov dioksid
CTS	Centralizirani toplinski sustav
EK	Europska komisija
EU	Europska unija
HBOR	Hrvatska banka za obnovu i razvoj
IRR	engl. internal rate of return (unutarnja stopa povrata)
NO _x	Dušikovi oksidi
NPV	engl. Net Present. Value (Neto sadašnja vrijednost)
O&M	engl. Operations and Maintenance (Pogon i održavanje)
OIE	Obnovljivi izvori energije
PTV	Potrošna topla voda
SAD	Sjedinjene Američke Države
SEAP	Akcijski plan energetske održivosti razvika

POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
C_{DX}	kn	Cijena toplovoda promjera x
c_p	KJ/kg/K	Specifični toplinski kapacitet vode
D	m	Promjer toplovoda
D_X	m	Promjer toplovoda x
k_{dr}	W/K/m	Koeficijent gubitaka topline
l_i	m	Duljina i-te dionice
\dot{m}	kg/s	Maseni protok
Φ	W	Prijenosni učinak
Φ_L	W	Toplinski gubici
\dot{Q}	m ³ /s	Volumenski protok
Q_{god}	MWh	Potrebna toplina na godišnjoj razini
Q_i	MWh	Potrebna toplina u i-tom satu
SS_i	°C	Stupanj sat
$T_{e,i}$	°C	Vanjska temperatura u i-tom satu
$T_{i,i}$	°C	Unutarnja temperatura u i-tom satu
T_{polaz}	K	Temperatura polaznog voda
T_{povrat}	K	Temperatura povratnog voda
T_{sr}	K	Srednja temperatura polaznog i povratnog voda
v	m/s	Brzina strujanja vode
ΔT	K	Razlika temperatura
ρ	kg/m ³	gustoća vode

SAŽETAK

Sektor grijanja i hlađenja u Republici Hrvatskoj zauzima 36,6% u finalnoj potrošnji energije što je posljedica relativno starih sustava te neadekvatno izoliranih zgrada. Primjenom metoda energetske učinkovitosti te visokoučinkovite kogeneracije i centraliziranih toplinskih sustava može se postići smanjenje potrošnje primarne energije. Nadalje, ti sustavi predstavljaju djelotvoran mehanizam za integraciju većeg udjela obnovljivih izvora energije i otpadne topline. Na taj način pridonose smanjenju emisija stakleničkih plinova i ovisnosti o uvoznim fosilnim gorivima te omogućuju korisnicima komfornu, pristupačnu i pouzdanu opskrbu.

U ovome radu prikazane su metode izrade tehno-ekonomske analize centraliziranog toplinskog sustava grada Ozlja koja obuhvaća mapiranje toplinskih potreba i scenarijsku analizu. Ona se provodi za dvije alternative distribucijskog sustava te su za isplativiju predložena i razmotrena dva različita proizvodna postrojenja. Za pokrivanje toplinskih potreba prvo postrojenje koristi isključivo kotao na biomasu, a drugo sinergiju kotla, solarnih kolektora i toplinskog spremnika te je za njega provedena optimizacija koristeći program H2RES. Svi analizirani slučajevi unutar ovog rada su isplativi te ekološki prihvatljiviji od trenutnog stanja, a pritom se kao optimalno rješenje pokazalo postrojenje s kotlom na biomasu koje zadovoljava toplinske potrebe građevina u centru grada i industrijskoj zoni. Nadalje, cijena toplinske energije iz tog sustava bila bi niža od prosjeka Europske unije i Republike Hrvatske.

Ključne riječi: centralizirani toplinski sustavi, smanjenje emisija stakleničkih plinova, obnovljivi izvori energije, biomasa, solarni kolektori, toplinski spremnik, Ozalj

SUMMARY

The heating and cooling sector stands for 36,6% of the final energy consumption in the Republic of Croatia due to relatively old systems and inadequate building insulation. Reduction in primary energy consumption will be achieved, if energy efficiency measures as well as high-efficiency co-generation and district heating systems are used. Furthermore, these systems present effective mechanism for integration of a greater number of renewable energy sources and waste heat. In doing so they not only contribute to reduction of greenhouse gases emissions and dependence on import of fossil fuels but also enable comfortable, affordable and secure supply of heat energy.

This thesis depicts methods used for techno-economic analysis of district heating system located in the city of Ozalj. It has covered heat demand mapping and scenario analyses for two alternative district heating distributions. For the more feasible alternative, two types of heat production facilities have been proposed and analyzed. First facility is biomass-fired heat plant whereas second one uses synergy of solar and biomass energy. The latter scenario is optimized by H2RES model. All cases analyzed in this thesis are feasible and more environmentally friendly than the current state. Scenario with the smaller distribution network and heat only biomass boiler has come out as the optimal solution. Price of the heat energy would be below the European Union and Croatian average.

Key words: district heating systems, reduction of greenhouse gases emissions., Renewable energy sources, biomass, solar collector, heat storage, Ozalj

1. UVOD

Ratifikacijom Kyoto protokola, 27. travnja 2007. godine, Republika Hrvatska priključila se borbi protiv globalnog zatopljenja te se time obvezala smanjiti emisije stakleničkih plinova u razdoblju između 2008. i 2012. godine za 5% u odnosu na baznu 1990. godinu [1]. Republika Hrvatska uspješno je ispunila svoju dužnost u prvom obvezujućem razdoblju [2]. Kyoto protokol nije bio ratificiran od strane Sjedinjenih Američkih Država (SAD) koje su 1990. godine bile najveći zagađivač na svijetu [3]. Za razliku od Kyoto protokola, prema kojemu su države koje su ga ratificirale dužne ispuniti ciljeve dodijeljene sporazumom, a oni su određeni prema razvijenosti države, Pariškim sporazumom svaka država koja ga ratificira dobrovoljno određuje svoje ciljeve za smanjenje ili ograničavanje emisija stakleničkih plinova. Ako neka država ne uspije ispuniti zadaće koje je stavila pred sebe ta država neće biti kažnjena, što je još jedna suprotnost s Kyoto protokolom.

Pariški sporazum prvi je u povijesti pravno obvezujući klimatski sporazum kojeg su prihvatile sve države članice Okvirne konvencije Ujedinjenih naroda o promjeni klime, a donesen je u sklopu 21. konferencije stranaka (*COP21, engl. Conference of parties*) održane u Parizu. Sporazum je stupio na snagu 4. studenoga 2016., a do sada ga je ratificiralo 129 od 197 država. Republika Hrvatska još uvijek nije jedna od njih (10. veljače 2017.). Značaj ovog sporazuma je u tome što su se po prvi put u povijesti sve zemlje članice složile i odlučile djelovati u borbi protiv klimatskih promjena i prilagoditi se njihovim posljedicama [4]. Ciljevi Pariškog sporazuma su: [5]

- Ograničavanje porasta srednje temperature na svjetskoj razini ispod 2°C s težnjom zadržavanja porasta na 1,5°C u odnosu na predindustrijsko razdoblje.
- Povećanje sposobnosti prilagodbe štetnim posljedicama klimatskih promjena te smanjenje emisija ugljikovog dioksida (CO_2) i jačanje otpornosti na klimatske promjene tako da ne ugrožavaju proizvodnju hrane.
- Usmjeravanje financijskih tokova prema niskougljičnom razvoju i jačanju otpornosti na klimatske promjene.

1.1 Europska unija u borbi protiv klimatskih promjena

Europska unija (EU) svjetski je lider u borbi protiv klimatskih promjena, a sukladno tome Europska komisija (EK) ratificirala je Kyoto protokol i Pariški sporazum. EK je stoga razvila i donijela strategije na razini EU za borbu protiv klimatskih promjena koje se postepeno implementiraju, a provode se za postizanje niskougljične ekonomije do 2050. godine odnosno za smanjenje emisija stakleničkih plinova između 80% i 95% u odnosu na 1990. godinu. Republika Hrvatska kao punopravna članica EU također sudjeluje u izvršavanju ovih strategija. Ključni ciljevi EU za postizanje niskougljične ekonomije do 2050. postavljeni su u paketu mjera za klimu i energiju do 2020. odnosno 2030. godine. Paket mjera koji je EU donijela do 2020. poznat je pod nazivom plan 20/20/20, a on propisuje:

- Smanjenje emisija stakleničkih plinova za 20% u usporedbi s 1990. godinom.
- 20% energije u EU mora biti iz obnovljivih izvora energije (OIE).
- Poboljšanje energetske učinkovitosti od 20%.

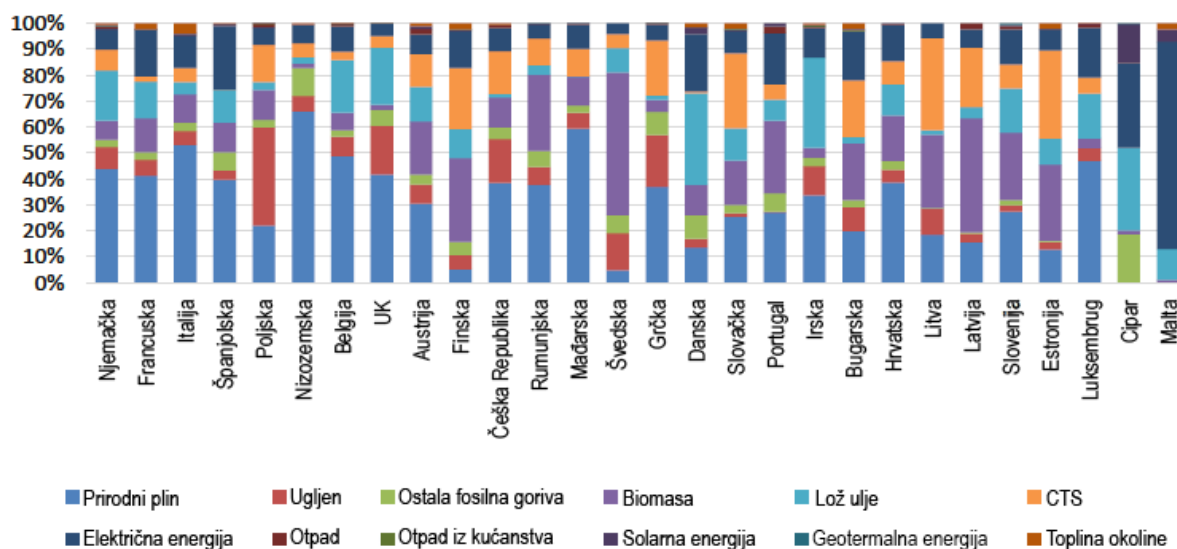
Ciljevi EU do 2030. su sljedeći:

- Najmanje 40% smanjenje emisija stakleničkih plinova u usporedbi s 1990. godinom.
- Najmanje 27% energije u EU mora biti iz OIE.
- Poboljšanje u energetske učinkovitosti mora iznositi najmanje 27%, a 2020. godine razmatrat će se postavljanje ovog cilja na 30% [6].

U nastojanju postizanja takavog ambicioznog plana, članice EU moraju djelovati kumulativno te svi sektori odgovorni za emisije u EU moraju doprinijeti tranziciji ka niskougljičnom društvu, sukladno njihovom tehnološkom i ekonomskom potencijalu [6].

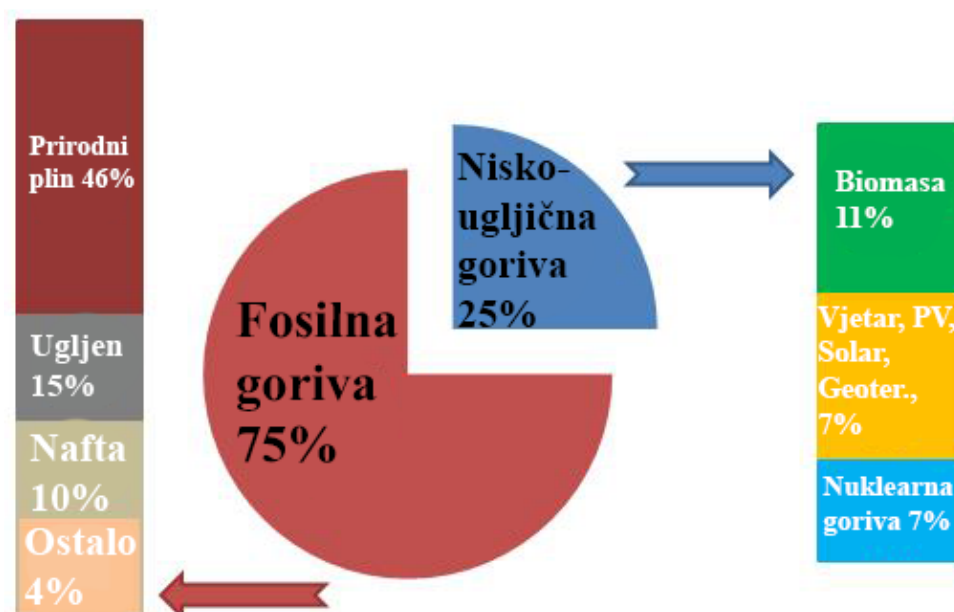
1.2 Grijanje i hlađenje u Europskoj uniji

Grijanje i hlađenje u EU predstavljaju energetske najintenzivniji sektor s udjelom od 50% u finalnoj potrošnji energije, a njenu raspodjelu po državama članicama prikazuje slika 1.



Slika 1. Raspodjela finalne energije za grijanje i hlađenje [7]

Od ukupne energije za grijanje i hlađenje u EU, 45% otpada na sektor kućanstva, 37% na industriju, a ostatak na uslužni sektor. 2012. godine udio OIE u opskrbi primarnom energijom za grijanje i hlađenje iznosio je 18% dok su fosilna goriva zauzela 75% (slika 2). Najveći udio OIE za pokrivanje toplinskih potreba koristi se u Nordijskim i Baltičkim državama članicama (od 43% u Estoniji do 67% u Švedskoj), a među OIE najčešće je korištena biomasa, čak u 90% slučajeva [7].



Slika 2. Raspodjela primarne energije za grijanje i hlađenje u EU [7]

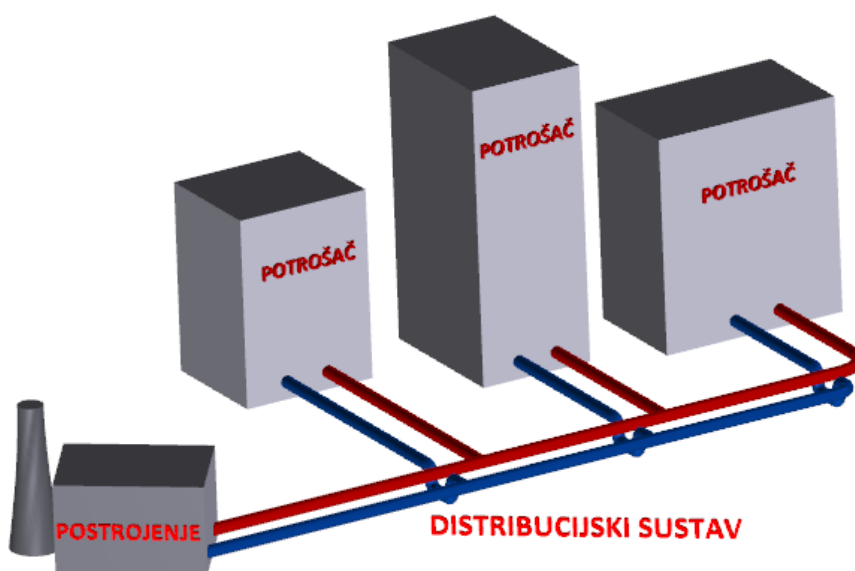
Ključnu ulogu u tranziciji prema niskougljičnoj ekonomiji imaju OIE, koji su sve zanimljiviji ulagačima zato što su njihovi investicijski troškovi iz godine u godinu sve niži. Međutim, integracija velikog postotka OIE u energetske sustave može biti mukotrpan posao zato što su neki od njih intermitentni. Stoga u nastojanju da ih se u što većem broju integrira u energetske sustave potrebno je poduzeti određene mjere. Jedna od mjera koja to omogućava je izgradnja centraliziranih toplinskih sustava (CTS). Oni su pogodni zato što se mogu koristiti sa spremnicima topline u kojima se pohranjuje energija kada se pojave viškovi u toplinskoj mreži, a prazne se kada potrebe za toplinom porastu [8].

CTS u EU osigurava 13% energije potrebne za grijanje. Prema podacima iz 2013. godine u njima su najzastupljenija goriva bila plin i nafta s udjelima od 44% odnosno 17%. Kako bi smanjili emisije stakleničkih plinova potrebno je ovih 61% topline, koje se dobiva iz plina i nafte zamijeniti otpadnom toplinom, geotermalnom, solarnom i električnom energijom dobivenom iz OIE [9].

Istovremenom proizvodnjom električne i toplinske energije (kogeneracijom) mogle bi se postići znatne uštede s ekonomskog i energetskeg gledišta te smanjenje emisija CO₂ u odnosu na njihovu odvojenu proizvodnju. Ukoliko bi se kogeneracijsko postrojenje koristilo u kombinaciji sa spremnikom topline povećala bi se iskoristivost postrojenja jer se proizvodnja topline ne bi trebala prekidati. To bi bilo pogodno s gledišta energetske učinkovitosti jer gotovo polovica zgrada Europske unije ima kotlove ugrađene prije 1992. s učinkovitošću od 60% ili manjom [8].

2. Centralizirani toplinski sustavi

CTS komercijalno je uveden prvo u SAD-u pred kraj 19. stoljeća, dok se u Europi počeo uvoditi početkom 20. stoljeća [10]. Uobičajeno, CTS distribuira toplinsku energiju u obliku tople vode ili pare, od izvora topline prema potrošačima. Prema tome nije potrebno imati kotao u svakoj građevini kako bi se zadovoljile potrebe za toplinom [11]. Ovakav sustav pogodan je za područja s velikom gustoćom toplinskih potreba i velikim faktorom opterećenja kako bi se što prije isplatili visoki investicijski troškovi izgradnje sustava. CTS se sastoji od tri osnovne komponente, a to su postrojenje ili izvor topline, distribucijski sustav i toplinske podstanice koje mogu biti direktne ili indirektne. Komponente prikazuje slika 3.



Slika 3. komponente CTS-a

Potrošači mogu biti direktno spojeni na CTS, u kojem se slučaju toplina preuzima tako da kroz zgradu struji voda koja dolazi iz postrojenja. Drugi način preuzimanja topline je indirektan, a vrši se tako da voda iz postrojenja prolazi kroz izmjenjivač topline u toplinskoj podstanici te predaje toplinu vodi koja cirkulira kroz sustav grijanja zgrade.

2.1 Suštinska ideja centraliziranih toplinskih sustava

Suštinska ideja CTS-a je koristiti lokalno gorivo ili izvor topline, koji bi inače bili neiskorišteni, za pokrivanje toplinskih potreba korisnika. Kako bi CTS bio konkurentan moraju se ostvariti određeni uvjeti:

1. Potreba za topline
2. Dostupnost jeftinog izvora topline

Povećanjem udaljenosti između proizvodnog postrojenja i potrošača rastu investicijski i pogonski troškovi. Pet vrsta goriva i izvora topline koji odgovaraju gornjim uvjetima su:

1. Toplina iz kogeneracijskih postrojenja (*CHP, engl. Combined Heat and Power*)
2. Korisna toplina dobivena spaljivanjem otpada
3. Korisna otpadna toplina iz industrijskih procesa i rafinerija goriva
4. Biomasa
5. Geotermalni izvori topline

Korištenje CTS-a pruža niz prednosti kao što su povoljniji utjecaj na okoliš i ekonomske pogodnosti, a korisnicima pruža komfornu, jednostavnu, neprekinutu i pouzdanu opskrbu topline. Investicijski troškovi u opremu za grijanje su niži, a zbog nižeg rizika od eksplozije i požara, cijena osiguranja koju plaćaju korisnici CTS-a je manja. Ovakav sustav može biti od iznimne važnosti za lokalnu zajednicu, budući da se postrojenje nalazi u blizini mjesta koje opskrbljuje topline što znači stvaranje novih radnih mjesta, a ukoliko se koriste OIE utoliko se povećava kvaliteta života. Nadalje, lakše je kontrolirati emisije stakleničkih plinova iz centralnog postrojenja, a i primijeniti razne tehnologije za smanjenje njihovog utjecaja na okoliš, koje na malim kotlovima unutar zgrada nisu tehnički izvedive i/ili ekonomski isplative [11].

Međutim, svaka tehnologija ima i svoje mane pa tako i ova: zamjena sustava je problematična, kolizija s plinskom infrastrukturom, loše javno mišljenje u nekim državama, smanjena mogućnost regulacije od strane korisnika.

Sljedeći atributi i karakteristike su vrlo često pripisane CTS-u:

- Ekonomija opsega je pokretačka sila u suštinskoj ideji CTS-a, a ona određuje faktore koji osiguravaju nižu cijenu srodnih proizvoda u prikladnom zajedničkom procesu proizvodnje nego što bi ona bila u odvojenoj proizvodnji. Primjere ekonomije opsega

predstavljaju: otpadna toplina iz industrijskih procesa, toplina dobivena spaljivanjem otpada i toplina iz CHP [11].

- Ekonomija razmjera označava tehnologije koje imaju niže troškove pri većim proizvodnim količinama. Kroz povijest su veći kotlovi bili učinkovitiji, povoljniji i imali su bolji utjecaj na okoliš. Budući da danas na tržištu postoje veoma učinkovite dizalice topline i kotlovi, ekonomija opsega CTS-a više nije dovoljna za stvaranje održivog tržišta ako se za proizvodnju topline koristi isključivo prirodni plin, nego se mora koristiti jedan ili više strateški važnih izvora topline [11].
- Fleksibilnost je još jedna važna karakteristika CTS-a, a ona se očituje u mogućnosti promjene tehnologije ili izvora topline koji pokriva toplinske potrebe potrošača ako se promjene cijene goriva [11].
- Utjecaj na okoliš CTS s obzirom na emisije dušikovih oksida (NO_x), stakleničkih plinova i prašine je manji u odnosu na individualne sustave grijanja [11].
- CTS također pruža veću sigurnost opskrbe zato što je ukupna opskrba primarnom energijom niža nego što je to u slučaju pojedinačnih kotlova unutar zgrada. Razlog tome je to što gotovo polovica zgrada Europske unije ima kotlove postavljene prije 1992. s učinkovitošću od 60% [8]. Nadalje, ova prednost dolazi i zbog zamjene fosilnih goriva, koja nerijetko dolaze iz politički nesigurnih područja, s lokalno dostupnim OIE i iskorištavanjem otpadne topline [11].

Za energetičare ideja CTS-a može biti iskazana na sljedeći način: iskorištavanje viškova topline iz energetskih postrojenja za potrebe CTS-a potječe iz drugog zakona termodinamike. Veliku većinu eksergijskog sadržaja svakog goriva treba iskoristiti za industrijske procese ili za proizvodnju električne energije u CHP postrojenju, a ostatak eksergije iskoristiti za dobavu topline zgradama spojenim na CTS. Kada su goriva korištena izravno za pokrivanje toplinskih potreba za grijanje potrošača, korisna eksergija je uništena zato što se u kotlu proizvela niskotemperaturna toplina s niskim eksergijskim sadržajem. Stoga ako se želi dobiti dugoročno održivi energetski sustav mora se maksimizirati eksergijski sadržaj svakoga goriva kako bi se maksimalno iskoristio dostupni izvor i minimizirali utjecaj na okoliš [11].

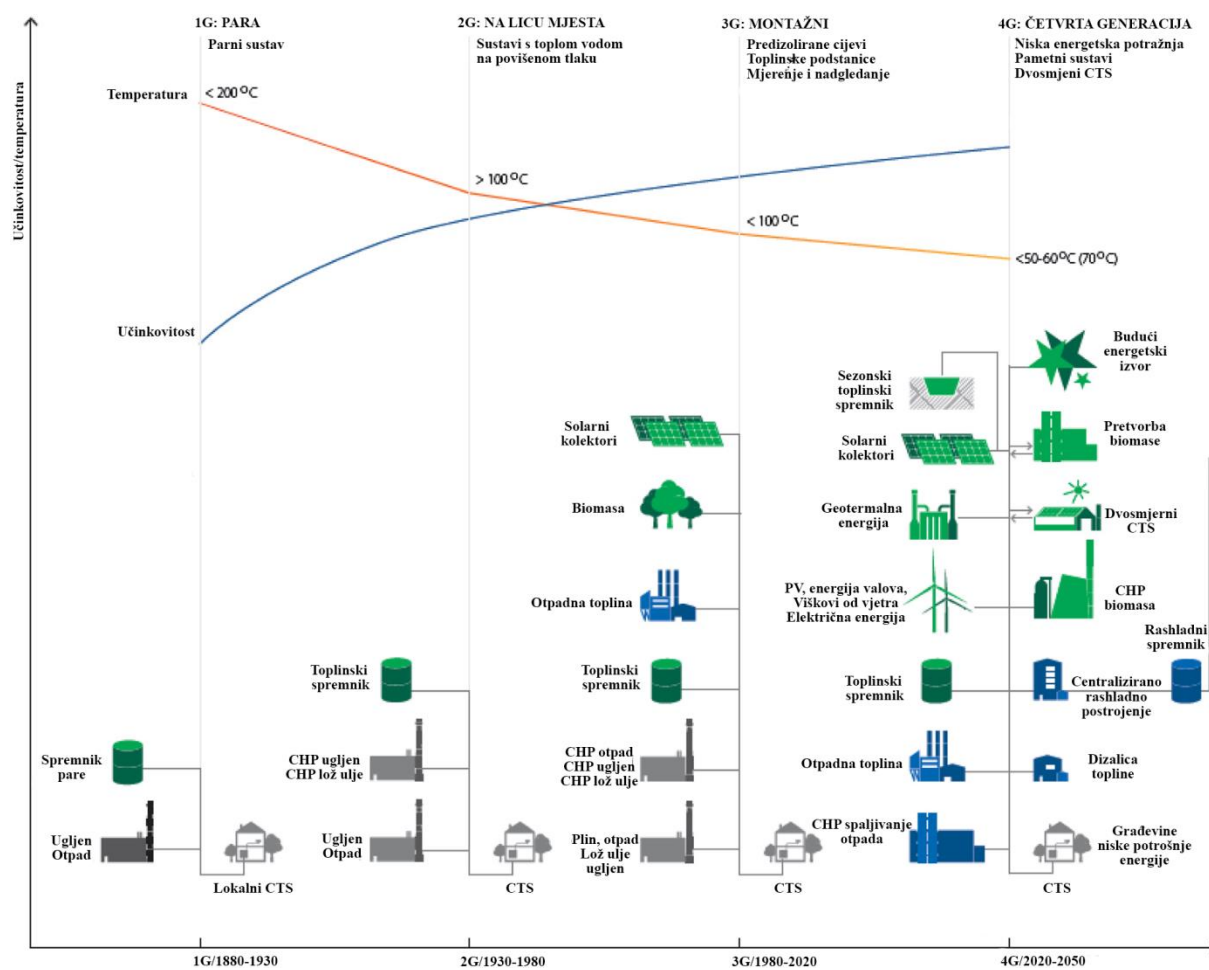
2.2 Razvoj centraliziranih toplinskih sustava

Prva generacija CTS-a pojavila se u SAD-u 1880-ih, a kao medij za prijenos topline koristila se para. Takav sustav pokazivao je brojne nedostatke kao što su veliki toplinski gubici zbog visoke temperature pare, mogućnost eksplozije, korodiranje povratnih vodova i niska učinkovitost. Danas je ovakav sustav napušten i koristi se u svega nekoliko sustava kao što su Pariški i u starom dijelu New Yorka. Ovaj sustav uveden je sa svrhom povećanja komfora i smanjenja opasnost od eksplozije kotla u zgradi [12].

Medij za prijenos topline u drugoj generaciji je voda pod tlakom s temperaturama u polaznom vodu preko 100 °C. Ovaj sustav pojavio se 1930-ih te je dominirao među novim sustavima sve do 70-ih godina prošloga stoljeća. Razvoj ovog sustava potaknut je željom za još većim komforom i smanjenjem potrošnje goriva koristeći CHP postrojenja [12].

Treća generacija počela se uvoditi 1970-ih godina, a 80-ih godina korištena je u većini slučajeva. Voda pod tlakom i dalje je medij za prijenos topline, ali razlika u odnosu na prošlu generaciju je u tome da su temperature u polaznim vodovima ispod 100 °C. Glavni motiv za uvođenje ove generacije bilo je postizanje sigurnosti opskrbe. Razlog tome je pojava naftnih kriza koje su u fokus stavile energetske učinkovitost CTS-a i zamjenu nafte s raznovrsnim lokalnim i/ili jeftinijim gorivima i izvorima topline kao što su ugljen, biomasa, otpad, solarna i geotermalna energija [12].

Može se uočiti da je razvoj kroz ove tri generacije tekao u smjeru smanjenja temperature ogrjevnog medija, debljine stijenke komponenata i vremena potrebnog za montažu. Prema tome može se naslutiti da će i četvrta generacija krenuti u tom smjeru. Nadalje, primarna motivacija za budući razvoj CTS-a je transformacija ka održivom energetskom sustavu. Kako bi ispunili svoju ulogu u budućem sustavu, oni će morati osigurati dovoljnu količinu topline za grijanje i pripremu potrošne tople vode (PTV) pri nižim temperaturama polazne vode i nižim distribucijskim gubicima. U ovoj generaciji trebat će se integrirati pametni energetski sustavi, intermitentni obnovljivi izvori energije, kao i otpadna toplina iz raznih izvora. Na kraju, CTS će morati osigurati prigodno planiranje i cijenu [12]. Slika 4 i tablica 1 prikazuju usporedbu generacija ovih sustava.



Slika 4. Usporedba generacija CTS-a [12]

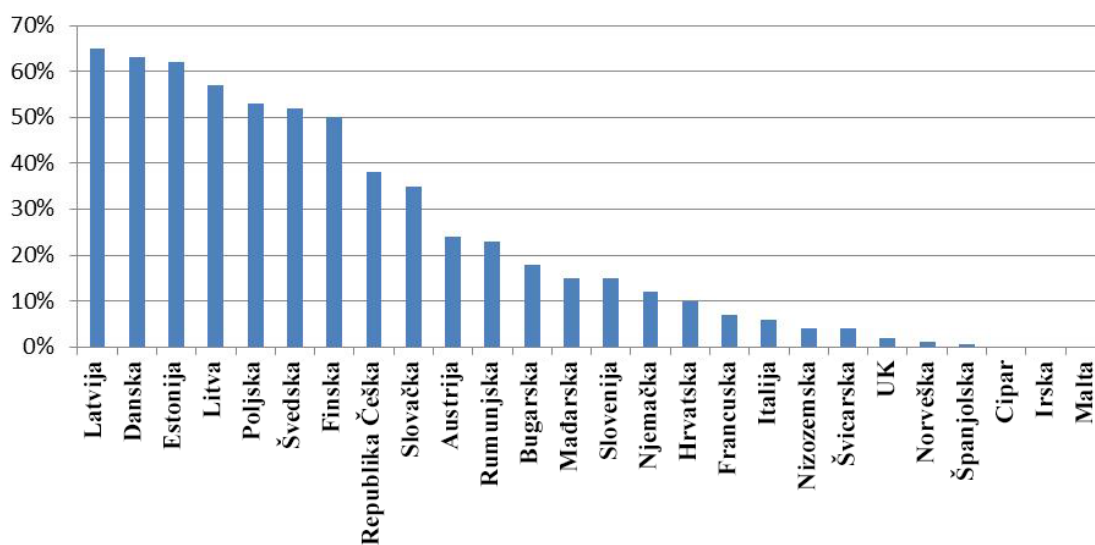
Tablica 1. Usporedba generacija CTS-a [12]

	1. generacija	2. generacija	3. generacija	4. generacija
Razdoblje primjene	1880.-1930.	1930.-1970.	1970.-2020.	2020.-2050.
Distribucija i potražnja				
Medij za prijenos topline	Para	Voda pod tlakom na temperaturama višim od 100 °C	Voda pod tlakom na temperaturama nižim od 100 °C	Voda zagrijana na temperaturu od 30-70 °C
Cijevi	Izolirane čelične cijevi	Izolirane čelične cijevi	Predizolirane čelične cijevi	Predizolirane fleksibilne cijevi
Cirkulacijski sustav	Para pod tlakom	Centralne pumpe	Centralne pumpe	Centralne i decentralizirane pumpe
Toplinske podstanice	-	Izmjenjivači topline cijev u plaštu	Bez ili s pločastim izmjenjivačem topline	Vjerojatno s pločastim izmjenjivačem topline
Gradevine	Stambeni i uslužni sektor	Stambeni i uslužni sektor 200-300 kWh/m ²	Stambeni i uslužni sektor 100-200 kWh/m ²	Nove gradevine <25kWh/m ² Postojeće gradevine 50-150 kWh/m ²
Mjerenje	Mjerenje kondenzata	Kalorimetri i razdjelnici	Kalorimetri	Kalorimetri
Ogrjevna tijela	Temperature pare ili vode preko 90°C	Korištenje vode iz CTS-a direktno ili indirektno (90°C)	Korištenje vode iz CTS-a direktno ili indirektno (70°C)	Indirektni sustav, podno grijanje (50°C)
Proizvodnja i integracija sustava				
Postrojenja za pretvorbu u toplinu	Parni kotlovi na ugljen i poneko CHP postrojenje	CHP na bazi ugljena i nafte	Velika CHP postrojenja, biomasa i otpad, ili kotlovi na fosilna goriva	Niskotemperaturna otpadna toplina i obnovljivi izvori energije

Integracija s opskrbom električnom energijom	CHP kao izvor topline	CHP kao izvor topline	CHP kao izvor topline, veliki električni bojleri i dizalice topline u zemljama s povremenim viškovima električne energije	CHP sustavi integrirani s dizalicama topline i
Primarna motivacija	Komfor i smanjenje rizika	Smanjenje potrošnje goriva i troškova	Sigurnost opskrbe	Transformacija ka održivom energetsom sustavu

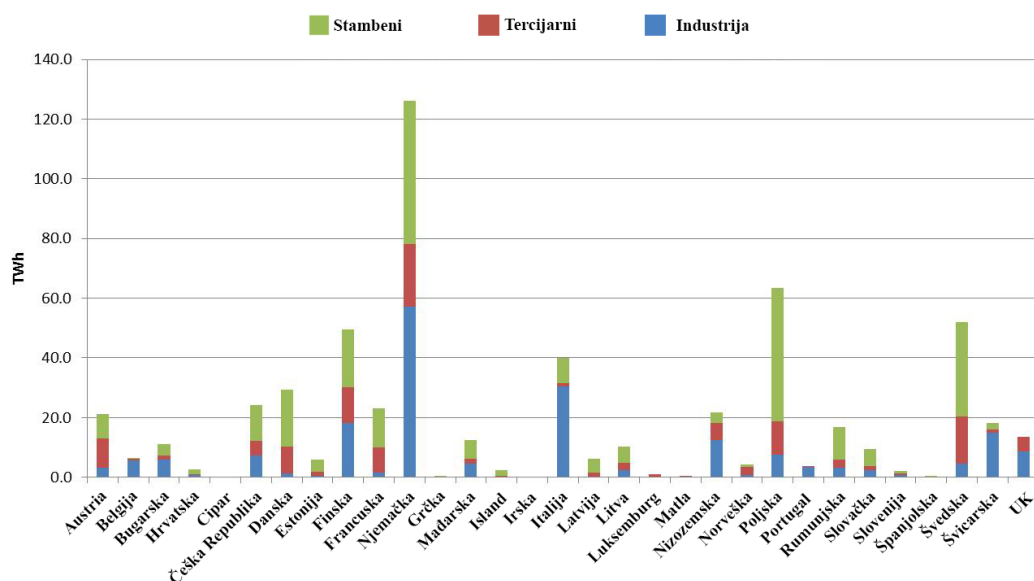
2.3 Centralizirani toplinski sustavi u Europi

Na području EU-28 nalazi se više od 10.000 CTS-a koji pokrivaju oko 8% ukupnog Europskog tržišta, odnosno opskrbljuju 70 milijuna građana EU [7].



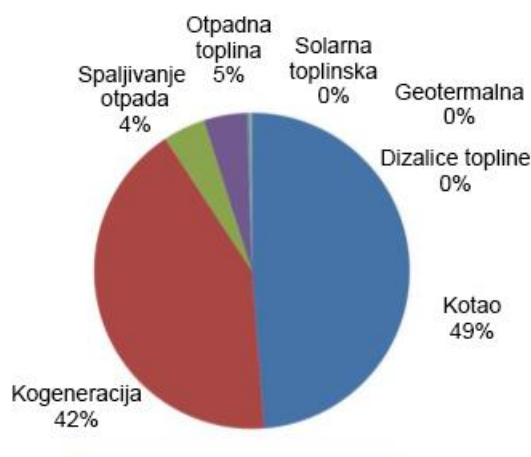
Slika 5. Postotak kućanstva spojenih na CTS u Europi [7]

Kumulativno na razini EU, od ukupne topline proizvedene u CTS-ima na sektor kućanstva otpada 45%, a na industrijski i tercijarni sektor otpadaju udjeli od 34% odnosno 21%. Međutim, ti udjeli značajno se razlikuju za svaku članicu (slika 6). Ukupna finalna potrošnja topline iz ovih sustava u 2012. godini iznosila je 576 TWh. Njemačka, na koju otpada 20% potrošnje finalne energije CTS-a predstavlja daleko najvećeg potrošača na razini EU [7].



Slika 6. Ukupna potrošnja energije CTS-a po sektorima i državama [7]

Slika 7 prikazuje dijagram s udjelima instaliranih snaga pojedinih tehnologija korištenih u CTS-ima na području EU-28. Podaci prikazani u dijagramu nisu potpuni (predstavljaju 247 GW), ali omogućuju prepoznavanje najčešće korištenih tehnologija, a u ovom slučaju to su samostalni kotlovi s udjelom od 49% i CHP s 42%. Od značajnijih tehnologija može se još spomenuti iskorištavanje otpadne topline (5%) i spaljivanje otpada (4%) [7].

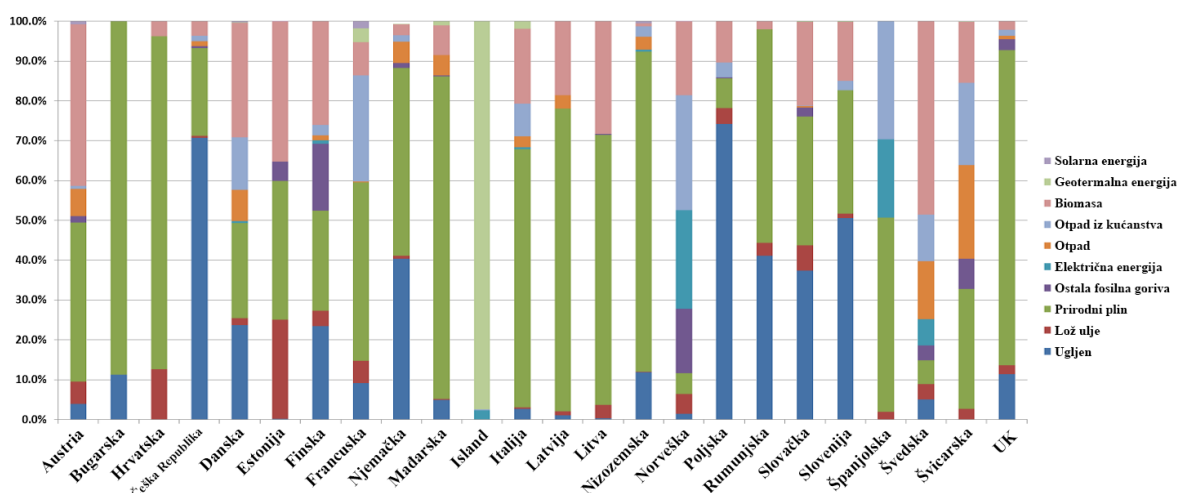


Slika 7. Postotak instalirane snage CTS prema tehnologiji [7]

Na razini EU, 2012. godine najzastupljenija goriva korištena u CTS-ima bila su prirodni plin (40%), a zatim ugljen (29%) i biomasa (16%). U CTS-e također je integrirana električna,

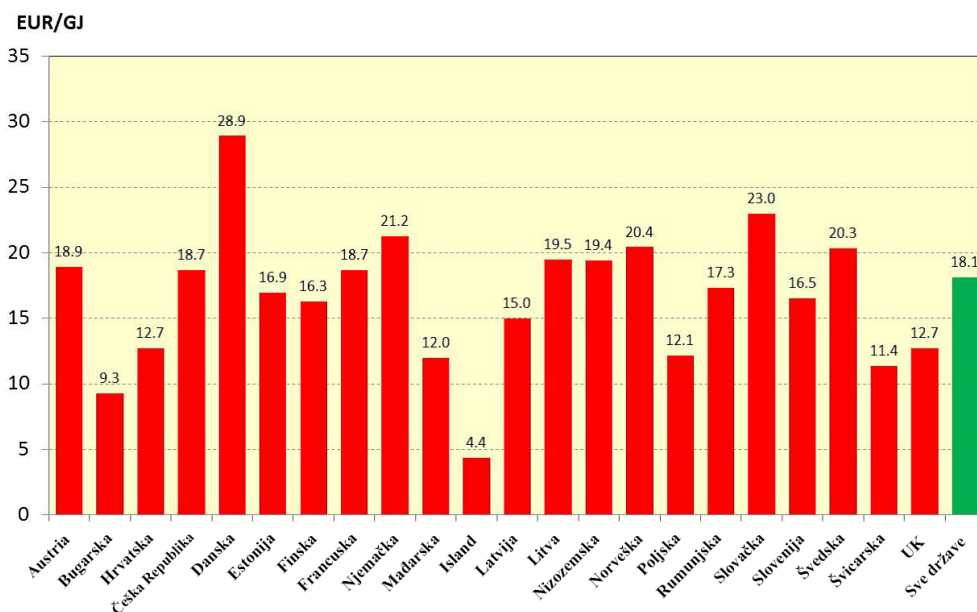
geotermalna i solarna energija te otpadna toplina i spaljivanje komunalnog otpada, ali njihov udio je jako mali. 70% goriva korišteno je u CHP, dok ostatak otpada na direktnu upotrebu OIE i samostalne kotlove [7].

Međutim, izvori energije u CTS-u značajno variraju od države do države kao što prikazuje slika 8. Tako npr. u državama Istočne Europe fosilna goriva pokrivaju između 80% i 100% potreba za toplinskom energijom, dok u Austriji, Švedskoj i Estoniji biomasa ima značajnu ulogu i pokriva između 35% i 50% potreba [7].



Slika 8. Izvori toplinske energije na razini EU [7]

Slika 9 prikazuje cijene toplinske energije iz CTS-a u EU za 22 države. Prosječna cijena iznosi 18,1 €/GJ. Republika Hrvatska ima cijenu ispod prosjeka koja iznosi 12,7 €/GJ [7].



Slika 9. Cijena toplinske energije iz CTS-a na razini EU [7]

2.4 Centralizirani toplinski sustavi u Republici Hrvatskoj

CTS u Republici Hrvatskoj predstavlja približno 14% ukupne opskrbe toplotom, a trenutno postoji u 19 gradova. Njima upravlja 14 tvrtki od kojih je najveća HEP Toplinarstvo d.o.o. s udjelom od otprilike 85%. Većina sustava može biti svrstana u drugu generaciju budući da je medij za prijenos topline voda pod tlakom čije su temperature polaznog voda veće od 100 °C. Međutim, tako visoke temperature polaza potrebne su zato što većina zgrada nema adekvatnu toplinsku izolaciju te je sukladno tome specifična toplotna potrošnja zgrada izrazito visoka, a na godišnjoj razini obično se kreće u rasponu 150-250 kWh/m². Najzastupljenije gorivo za proizvodnju topline u CTS u Hrvatskoj je prirodni plin, a njegov udio kreće se u rasponu 80-85% ovisno o sezoni. Drugo najzastupljenije gorivo je loživo ulje dok je udio OIE neznatan (jedno postrojenje na biomasu i jedno postrojenje na geotermalnu energiju). Trenutno su u pogonu tri CHP koja se koriste kao CTS, dva su smještena u Zagrebu te jedan u Osijeku [13].

Slika 10 prikazuje gradove u kojima postoji CTS s ilustrativnim prikazom veličine sustava.



Slika 10. CTS u Republici Hrvatskoj [14]

2013. godine u Republici Hrvatskoj na CTS-e bilo je spojeno ukupno 155.509 potrošača, a grijana površina za kućanstva iznosila je 8.072.143 m² odnosno 227.686 m² za ostale potrošače. Za pokrivanje toplinskih potreba isporučeno je ukupno 2.351.660 MWh distribucijskom mrežom duljine 410 km, a prema tome može se reći da je linearna gustoća toplinske energije iznosila 5.735,76 kWh/m [14].

Iako OIE zauzimaju neznatan dio u proizvodnji toplinske energije u CTS-ima, pozitivan primjer predstavlja toplana na drvenu sječku u Pokupskom koja je puštena u pogon krajem 2015. godine. Nazivna snaga ovog postrojenja je 1 MW, a učinkovitost kotla iznosi 94,7%. Distribucijska mreža proteže se na 2,8 km te je na nju trenutno spojeno 15 korisnika [15].

3. Metode

3.1 Mapiranje toplinskih potreba

Mapiranje toplinskih potreba potrebno je provesti kako bi se odredile toplinske potrebe određenog područja, a one se prikazuju grafički u obliku karte. Prema karti se odabire mjesto izgradnje proizvodnog postrojenja i razvod distribucijskog sustava dok se na temelju toplinskih potreba dimenzionira postrojenje, toplinske podstanice te distribucijski sustav.

Sukladno postojećem stanju građevina u gradu Ozlju, iste su podijeljene prema broju katova te u kategorije prema specifičnoj potrošnji (tablica 2). Podjela prema broju katova izvršena je u rasponu od 1 do 4 s podjelom po pola kata. Pola kata označava grijano potkrovlje.

Tablica 2. Kategorije građevina i pripadajuća specifična potrošnja

Kategorija	Specifična potrošnja [kWh/m ²]
Stara kuća	177,75
Nova kuća	112,5
Kuća bez fasade	262,5
Stambena zgrada	161,25
Komercijalne zgrade	135
Javne zgrade	270
Povijesne zgrade	78,75
Industrija	110

Podsektor kućanstva podijeljen je u četiri kategorije, a to su stara kuća, nova kuća, kuća bez fasade i stambena zgrada, a specifična potrošnja dodijeljena im je prema anketama koje je proveo Fakultet strojarstva i brodogradnje (FSB)[16]. Specifične potrošnje za komercijalne i javne zgrade dodijeljene su sukladno podacima iz Akcijskog plana energetske održivosti razvitka Grada Ozlja (SEAP) [17], a za povijesne zgrade (tu pripadaju i religijski objekti) preuzeta je vrijednost iz [18]. Za industriju je dobivena iskustvena vrijednost od mentora. Specifične potrošnje za sve kategorije, osim industrije, umanjene su prema preporuci mentora

za 25%. To je učinjeno zato što se unutar ovog rada promatraju samo toplinske potrebe za grijanjem, a vrijednosti specifičnih potrošnji sadrže i toplinu potrebnu za pripremu PTV-a. Vrijednosti specifičnih toplinskih potreba za kućanstva dobivene su iz anketa u kojima je mali broj ispitanika znao točne podatke o potrošnji energije za pripremu PTV-a. Specifične potrošnje javnih i komercijalnih zgrada dobivene su prema potrošnji energenata pa se ne može razlučiti koliko je energije utrošeno na grijanje. Za povijesne zgrade eksplicitno je navedeno da je uračunata i energija potrebna za pripremu PTV-a.

Proces mapiranja sastoji se od četiri glavna koraka. Prvi korak je izrada matrice u Matlabu [19] koja sadrži građevine na njihovim stvarnim lokacijama te njihove tlocrtne površine, a ti podaci dobiveni su pomoću Geoportala [20]. Prilikom pregledavanja građevina na Geoportalu uočene su određene nepravilnosti, odnosno površina nekih objekata je znatno manja nego što je to u stvarnosti, ali takvi objekti su u manjini. U drugom koraku u matricu s građevinama unesene su vrijednosti specifičnih potrošnji i broj katova te su tako dobivene dvije matrice. Sljedeći korak je spajanje matrica. Tako se dobiva karta koja sadrži informaciju o specifičnim toplinskim potrebama pojedine građevine. U zadnjem koraku, kako bi se odredila područja s velikom gustoćom toplinskih potreba, karta je ukrupljena te se tako dobiju polja potrošnje, odnosno kvadrati površine 100x100 m. Polja potrošnje prikazuju ukupne toplinske potrebe tog područja. Spajanje i izrada svih karata izvršena je uz pomoć računalnih programa Photoshop [21] i Matlab [19], a karta s poljima potrošnje izrađena je uz pomoć QGIS-a [22].

Kako bi se što točnije odredila nazivna snaga CTS-a, a zatim snaga toplinskih podstanica i promjeri toplovođa, provedena je metoda stupanj sat. Kao ulazna vrijednost potrebne toplinske energije na godišnjoj razini koristi se ukupna toplina dobivena mapiranjem (toplinski gubici su također uključeni). Period rada CTS-a je od 1. listopada do 30. travnja s prekidima rada ukoliko je vanjska temperatura veća od 16 °C. Unutarnja projektna temperatura u razdoblju od 5-23h iznosi 21 °C. Ostatak dana unutarnja temperatura iznosi 15 °C ako je vanjska temperatura manja od -5 °C, a u suprotnom CTS ne radi. Vanjske temperature na satnoj razini preuzete su iz Meteonorm-a [23], a njih prikazuje slika 11. Pomoću stupanj sat metode dobije se satna raspodjela potrebne topline, a ona se računa prema izrazu (1).

$$Q_i = SS_i \cdot \left(\frac{Q_{god}}{\sum SS} \right) \quad (1)$$

gdje je:

Q_i = Potrebna toplina u i-tom satu, MWh

Q_{god} = Potrebna toplina na godišnjoj razini, MWh

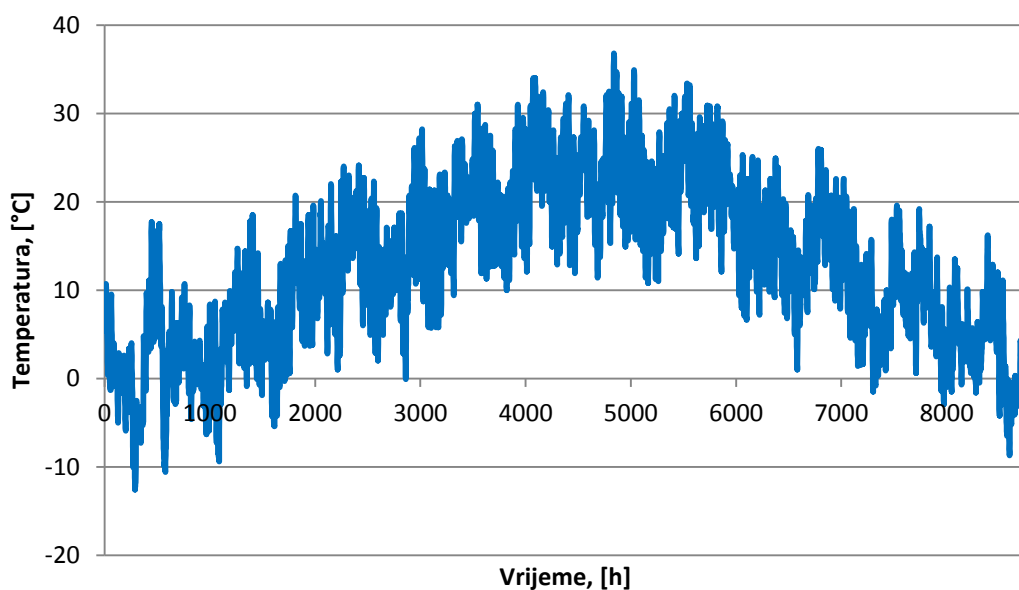
SS_i = Stupanj sat, °C

$$SS_i = T_{i,i} - T_{e,i} \quad (2)$$

gdje je:

$T_{i,i}$ = Unutarnja temperatura u i-tom satu

$T_{e,i}$ = Vanjska temperatura u i-tom satu



Slika 11. Satne vanjske temperature

Nakon što je određena satna raspodjela potrebne topline, može se naći nazivna snaga postrojenja. Od te vrijednosti se zatim oduzmu toplinski gubici te se tako određena snaga podijeli s bruto površinom svih građevina. Tako se odredi srednje specifično toplinsko opterećenje objekata u gradu Ozlju koje se koristi za dimenzioniranje cjevovoda i toplinskih podstanica.

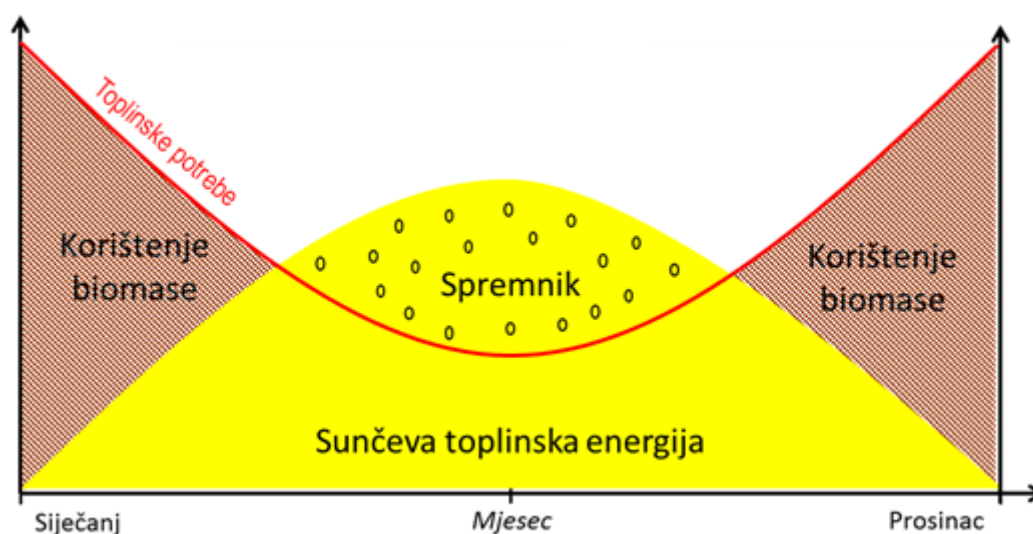
3.2 Scenarijska analiza

Prema karti s poljima toplinskih potreba odabiru se dvije verzije distribucijskog sustava za koje je potrebno odrediti sve prihode i rashode kroz period planiranja. Pritom se koristi postrojenje s kotlom na biomasu. Na taj način određena je isplativija distribucija, a za nju se

zatim provodi scenarijska analiza s hibridnim postrojenjem koje koristi sinergiju kotla na biomasu, solarnih kolektora i spremnika topline. U svim analizama zemljište na kojem se nalazi proizvodno postrojenje smatra se 100% u vlasništvu investitora.

Prilikom analize hibridnog postrojenja korišten je optimizacijski program H2RES (razvijen je u grupi za energetska planiranje na FSB-u), kako bi se odredila optimalna površina solarnih kolektora, zapremnina toplinskog spremnika i nazivna snaga kotla na biomasu. Nadalje, pomoću optimizacije dobivaju se i satna opterećenja pojedine tehnologije. Ulazni podaci potrebni za optimizaciju su tehno-ekonomski te klimatski podaci koji su svedeni na satnu razinu, a u njih spadaju raspodjela temperature, toplinsko opterećenje i sunčevo zračenje. U početnim uvjetima postavljeno je ograničenje da minimalna površina solarnih kolektora iznosi 10.000 m², dok najveća površina nije ograničena.

Najveća proizvodnja topline iz solarnih kolektora je ljeti tijekom dana, kada su toplinske potrebe sustava najmanje na dnevnoj i sezonskoj bazi. Zato ih je preporučljivo koristiti u sinergiji s toplinskim spremnikom. U ovom radu korišten je sezonski spremnik koji omogućava pohranu topline ljeti kada su potrebe za toplinom male, a proizvodnja najveća te iskorištavanje topline zimi kada je situacija obrnuta (slika 12). Osim što se uz pomoć spremnika može povećati udio toplinske energije iz solarnih kolektora, on povećava i iznos investicije. Kako bi se iskoristio puni potencijal solarnih kolektora, bez nepotrebnog povećanja investicije, spremnik mora biti dimenzioniran za očekivano toplinsko opterećenje. Jednom kada je spremnik napravljen nije pogodan za povećavanje kapaciteta postrojenja [24].



Slika 12. Ilustracija korištenja solarnih kolektora, biomase i spremnika topline [31].

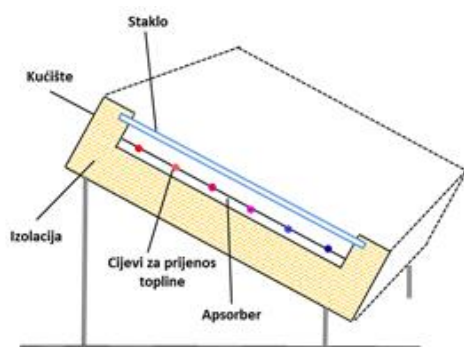
3.2.1 Troškovi postrojenja

Biomasa korištena u radu je drvena sječka, a karakteristike kotla prikazuje tablica 3. Kako se iz nje vidi, vijek trajanja postrojenja je 20 godina, stoga je uzet period planiranja od 20 godina. Prema preporuci mentora specifična investicija postrojenja u svim analizama iznosi 250.000 €/MW. Tablica 3 sadrži i podatke o troškovima pogona i održavanja (*O&M, engl. Operations and Maintenance*) koji su fiksni i iznose 5,40 €/MWh [25].

Tablica 3. Karakteristike CTS-a na drvenu sječku [25]

Tehničke karakteristike	
Snaga jednog postrojenja (MW)	1-12
Ukupna učinkovitost (%)	0,9646
Vijek trajanja (godine)	20
Vrijeme izgradnje (godine)	0,5-1
Okoliš	
SO ₂ (g po GJ goriva)	1,9
NO _x (g po GJ goriva)	81
Neizgoreni ugljikovodici (g po GJ goriva)	6,1
N ₂ O (g po GJ goriva)	0,8
Financijski podaci	
Ukupni O&M (€/MWh)	5,40

Ukoliko su dio CTS-a, solarni kolektori su najčešće postavljeni na tlu, iako za manje sustave mogu biti postavljeni na krovovima građevina. Mali solarni CTS-i najčešće koriste pločaste kolektore i vakuumske cijevi. Za potrebe ovog rada korišteni su pločasti kolektori, a kako oni izgledaju i od čega se sastoje prikazuje slika 13.



Slika 13. Pločasti kolektor [24]

Tablica 4 prikazuje karakteristike solarnih kolektora. Njihova cijena mijenja se u rasponu od 227-156 €/m², a u sklopu ovog rada ona iznosi 198,6 €/m².

Tablica 4. Karakteristike solarnih kolektora [25]

Solarno grijanje		
Cijena solarnih kolektora	227-156	€/m ²
O&M	0,57	€/MWh
Vijek trajanja	30	godina

Spremnik topline ukopan je u zemlju te se u njemu toplina pohranjuje u obliku osjetne topline vode. Temperatura vode u spremniku je 80 °C što spremniku daje specifični kapacitet od 93,33 kWh/m³. Njegove ostale karakteristike prikazuje tablica 5.

Tablica 5. Karakteristike toplinskog spremnika [25]

Sezonski spremnik topline		
Učinkovitost	80-95	%
Životni vijek	20	godina
Specifična investicija	35	€/m ³
O&M	0,7	% investicije/godina

Vrijednosti korištene za gorivo odnosno drvenu sječku odabrane su prema [26], a prikazuje ih tablica 6. Kako se u ovoj analizi koristi kondenzacijski kotao mora se uzeti u obzir gornja ogrjevna vrijednost goriva.

Tablica 6. Karakteristike goriva [26]

1 t drvene sječke (M30, P45)	Vrijednost	Mjerna jedinica
Gornja ogrjevna vrijednost	3,8067	MWh/t
Cijena	85	€/t
Energetska cijena	22,3292	€/MWh

Toplinske podstanice zapravo su izmjenjivači topline koji služe za izmjenu topline između ogrjevnog medija iz distribucijskog sustava CTS-a i onoga koji se nalazi u cirkulacijskom krugu građevine. Podaci o toplinskim podstanicama dobiveni su od mentora. Tablica 7 sadrži cijene bez PDV-a, ali on je uključen u ekonomskoj analizi (25%).

Tablica 7. Karakteristike toplinskih podstanice

Toplinska podstanica/tip	Kapacitet [kW]	Informativna cijena HRK, bez PDV
	>350	200.000
DSE1 LARGE	350	140.000
VX 32/32 E	150	76.000
VX E 3 Compact 28	60	35.000
VX E 1 Compact 28	50	34.000
VX E 1 Compact 28	30	30.000

U sklopu ovog rada korišten je katalog tvrtke ISOPLUS [27] (tablica 8), a sukladno njemu određeni su tipovi toplovoda prema kojima su određene cijene.

Tablica 8. Katalog duplih predizoliranih cijevi tvrtke ISOPLUS [27]

Tip	Dimenzioniranje				Gubitak topline	Cijena
	Sadržaj vode (l/m)	Volumni protok vode (m ³ /h)	Brzina strujanja (m/s)	Prenosiv učinak	koeficijent Kdr [W/(mK)]	HRK
				20K		
DN25	0,585	1,686	0,80	39	0,2745	340
DN32	1,018	3,298	0,90	77	0,2720	360
DN40	1,379	4,964	1,00	115	0,3037	400
DN50	2,282	9,036	1,10	210	0,3496	430
DN65	3,816	16,483	1,20	383	0,3522	490
DN80	5,346	25,017	1,30	582	0,3715	530
DN100	9,009	45,405	1,40	1.056	0,3913	650
DN125	13,789	79,423	1,60	1.847	0,4308	785
DN150	20,182	130,77	1,80	3.042	0,4691	1.095
DN200	31,4159	226,19	2,00	5.259	0,5379	1.325
DN250	49,0874	388,77	2,20	9.039	0,6066	1.670
DN300	70,6858	610,73	2,40	14.200	0,6754	2.054,78
DN350	96,2113	900,54	2,60	20938	0,7442	2439,56

U gornjoj tablici vrijednosti su bile poznate do tipa cijevi DN150, a ostale su određene uz pretpostavku da je promjer cijevi jednak njenom nazivnom broju te da brzina raste s promjerom po 0,2 m/s. Najveća brzina stoga iznosi 2,60 m/s , a to je u skladu s preporukom da brzina bude u rasponu od 0,5 do 5 m/s [10]. Budući da je gledan najnepovoljniji slučaj kada je temperaturni pad 20 K (tada je najmanji prijenosni učinak) samo su ekstrapolirane vrijednosti za taj slučaj i to prema izrazu (3), svojstva vode uzeta su za srednju temperaturu polaza i povrata koja iznosi 70 °C.

$$\Phi = \dot{m} \cdot c_p \cdot \Delta T \quad (3)$$

Razlika temperatura, ΔT iznosi 20K i definirana je prema (4)

$$\Delta T = T_{polaz} - T_{povrat} \quad (4)$$

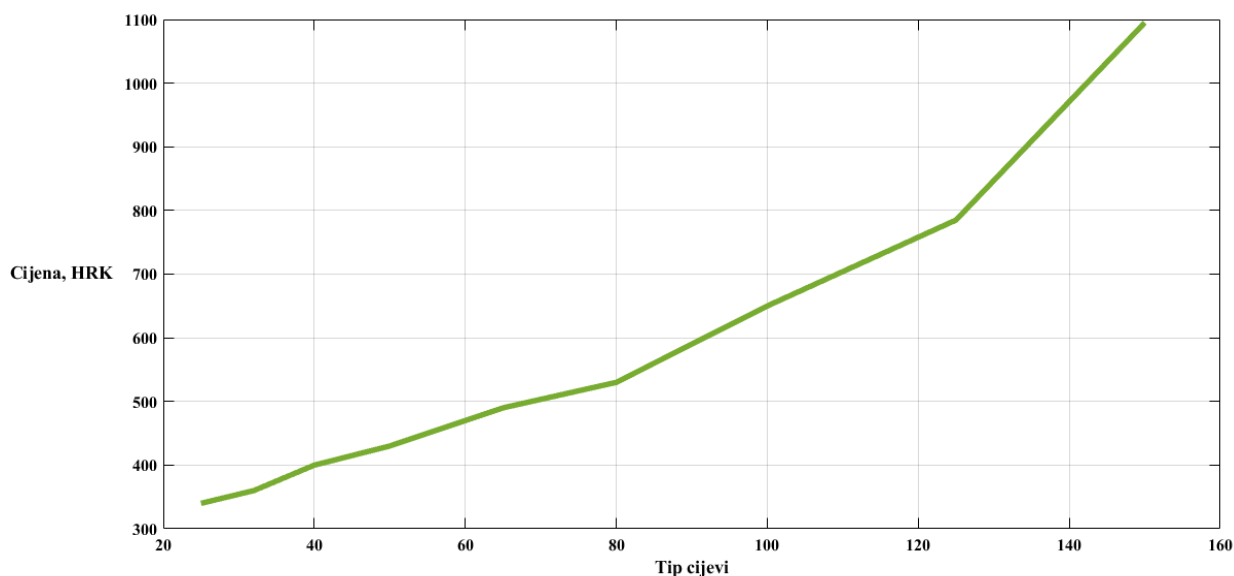
dok je maseni protok definiran kao

$$\dot{m} = \rho \cdot \dot{Q} \quad (5)$$

gdje je volumni protok izračunat prema izrazu (6)

$$\dot{Q} = \frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot v \quad (6)$$

Cijena za tipove cijevi od DN150 do DN350 također je nepoznanica, a određena je tako da je prvo nacrtan graf za postojeće cijene u odnosu na tip cijevi, slika 14.



Slika 14. Cijena cijevi u odnosu na tip cijevi

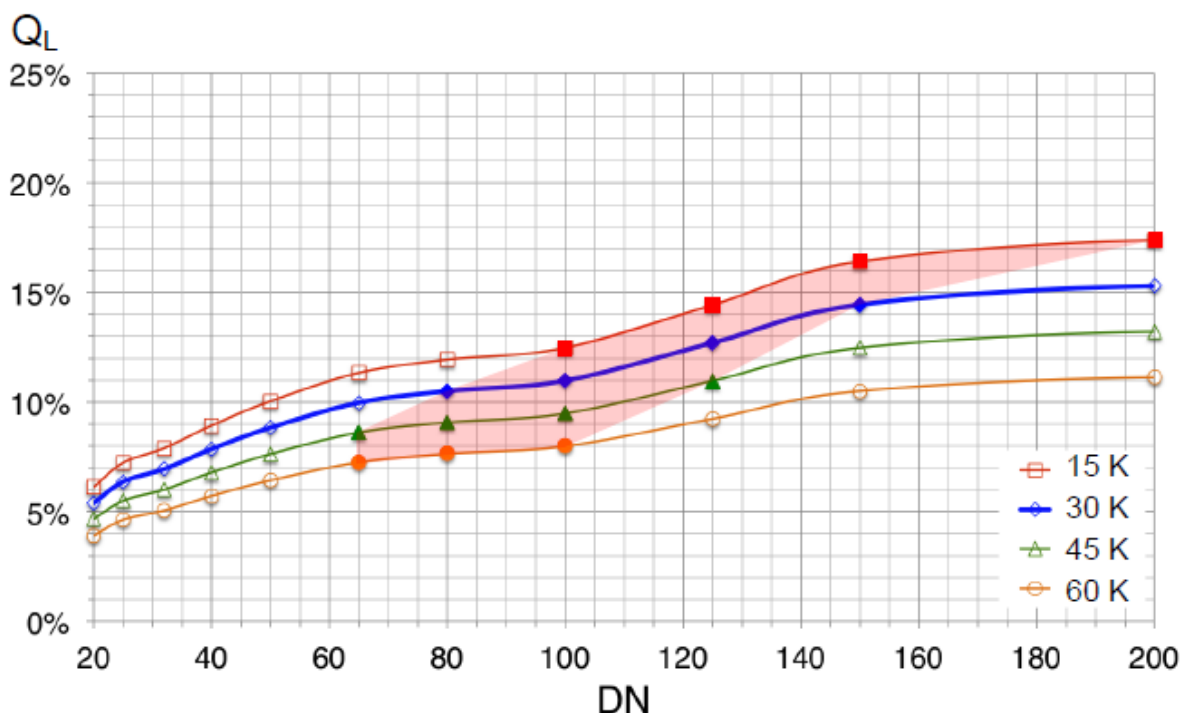
Prema grafu, može se uočiti da je krivulja cijena u odnosu na tip cjevovoda približno pravac pa su se ostale cijene linearno ekstrapolirale sukladno izrazu (7) u kojemu su koeficijenti dobiveni iz vrijednosti u gornjem grafu.

$$C_{DX} = 76,956 \cdot DX - 253,9 \quad (7)$$

Prema tablici 8 određeni su i toplinski gubici distribucijskog sustava. Oni se ne smiju zanemariti jer iznose između 5 i 15% (slika 15) ukupne topline koja se prenosi tom dionicom [28]. Određeni su prema izrazu (8)

$$\phi_L = k_{dr,i} \cdot T_{sr} \cdot l_i \quad (8)$$

gdje je koeficijent gubitka topline $k_{dr,i}$ odabran prema promjeru toplovoda, dok T_{sr} iznosi 343,17 K (70 °C) jer je temperaturni režim ogrjevnog medija 80/60 °C.



Slika 15. Distribucijski toplinski gubici u ovisnosti o promjeru toplovoda i režimu ogrjevnog medija [28]

Zbog sve veće brige za okoliš, u analizu je uključena i trgovina emisijama. Iako se biomasa smatra CO₂ neutralnom tijekom cjeloživotnog ciklusa, ipak se prilikom njenog izgaranja oslobađaju emisije CO₂ te za njih treba platiti naknadu. Naknada za emisiju jedne tone CO₂ iznosi 6 € (vrijednost je dobivena od mentora). Ukoliko se za gorivo koristi biomasa, odnosno drvena sječka, onda se prilikom njenog izgaranja i oslobađanja toplinske energije u iznosu od 1 MWh oslobađa i 42,35 kg CO₂ [29].

3.2.2 Prihodi

U prihode spadaju tarifne stavke. Za određivanje isplativije verzije distribucijskog sustava preuzete su tarifne stavke najbližeg postojećeg CTS-a koji se nalazi u Karlovcu. Njih prikazuje tablica 9.

Tablica 9. Tarifne stavke CTS Karlovac [14]

KUĆANSTVA		
Energija	0,38	kn/kWh
Snaga	18	kn/kW
Naknada po m ²	9,4	kn/m ² /godišnje
INDUSTRIJA I POSLOVNI POTROŠAČI		
Energija	0,50	kn/kWh
Snaga	24	kn/kW
Naknada po m ²	9,4	kn/m ² /godišnje

3.2.3 Kredit

U sklopu ovog rada uzeto je u obzir financiranje projekta djelomično s novcem investitora, a ostatak s kreditom. Podaci o kreditu preuzeti su od Hrvatske banke za obnovu i razvitak (*HBOR*), za kreditiranje EU projekata javnog sektora, a njih prikazuje tablica 10.

Tablica 10. Podaci o kreditu [30]

Kredit	
Udio kredita	80%
Kamatna stopa	4%
Rok otplate	15 godina

U sklopu rada korištena je i linearna amortizacija, a ona je također uzeta za razdoblje od 15 godina.

Isplativost alternative unutar ovog rada promatra se preko dva kriterija, a to su unutarnja stopa povrata (*IRR*, engl. *internal rate of return*) i neto sadašnja vrijednosti projekta (*NPV*, engl. *Net Present Value*). Koristeći prvi kriterij investicija je isplativa ako je *IRR* veći od diskontne stope koja u sklopu ovog rada iznosi 10%. Ukoliko se koristi drugi kriterij, investicija je

isplativa ako je NPV veći od nule. Ako sve alternative zadovoljavaju ove kriterije, kao najisplativija verzija uzima se ona koja ima najveći IRR odnosno NPV.

3.3 Analiza osjetljivosti

Analiza osjetljivosti provodi se u svrhu procjene osjetljivosti projekta na promjenu vrijednosti određene varijable. Ona se provodi mijenjajući vrijednost jedne varijable (ostale su nepromijenjene) te se promatra njen utjecaj na promjenu IRR-a i NPV-a. Ako se IRR i NPV mijenjaju značajno s malom promjenom vrijednosti to znači da je povećana osjetljivost projekta na njenu promjenu [31].

Unutar ovoga rada promatra se utjecaj promjene cijene goriva i toplinske energije te specifične investicije na promjenu IRR-a najisplativijeg scenarija. Promjena vrijednosti u rasponu je od 50% do 150% iznosa korištenog prilikom scenarijske analize [31].

3.4 Ušteda emisija ugljikovog dioksida

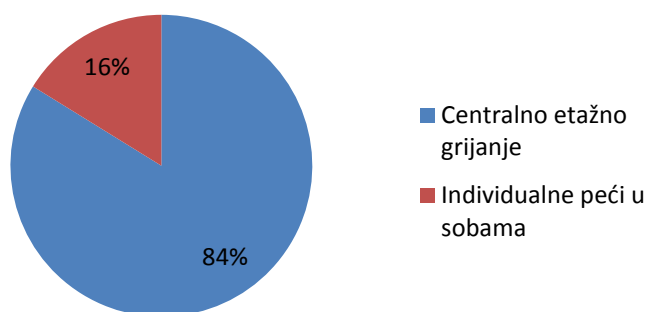
Ušteda emisija CO₂ predstavlja razliku između postojećeg i predloženog stanja. Emisije se u oba slučaja računaju prema toplinskim potrebama najisplativije alternative distribucijskog sustava i to tako da se za svaku kategoriju građevina emisije računaju zasebno.

Koristeći podatke iz SEAP-a [17] i anketa [16] određuje se udio energenata korištenih za pokrivanje toplinskih potreba svake kategorije u postojećem stanju. Vrijednosti za industriju nisu bile dostupne stoga je pretpostavljeno da u postojećem stanju polovicu toplinskih potreba zadovoljava prirodni plin, a drugu polovicu lož ulje. Kada su za kategorije poznate toplinske potrebe i korišteni energenti može se odrediti količina emisija CO₂.

U slučaju predloženih alternativa sve bi emisije dolazile od izgaranja biomase pa se stoga ukupna količina emisija CO₂ dobiva produktom ukupno proizvedene topline i faktora pretvorbe za biomasu [29].

4. Opis lokacije

Grad Ozalj nalazi se u Karlovačkoj županiji i prostire se na 179,40 km². Sastoji se od 98 naselja s 2.283 kućanstva u kojima ukupno živi 6.817 stanovnika [14][15][17]. Najveći broj građevina u Ozlju izgrađen je u razdoblju od 1961. do 1980. godine što znači da je prosječna starost građevina oko 40 godina. Relativno stare građevine i neadekvatna toplinska izolacija imaju za posljedicu relativno veliku potrebu za toplinskom energijom. To nije slučaj samo za Ozalj nego je situacija slična i u cijeloj Republici Hrvatskoj. Slika 16 prikazuje zastupljenost sustava grijanja u gradu Ozlju, a kako se može vidjeti iz nje velika većina građevina ima pogodnu infrastrukturu za priključivanje na CTS [17].



Slika 16. Zastupljenost sustava grijanja u Gradu Ozalj [17]

Ozalj je pristupio sporazumu gradonačelnika 25.11.2009. Potpisivanjem navedenog sporazuma priključio se naprednim europskim i svjetskim gradovima u borbi protiv globalnog zatopljenja. Time su se obvezali primijeniti mjere energetske učinkovitosti kako bi do 2020. godine smanjili emisije CO₂ za više od 20% u svome gradu. Sporazumom su definirane i obaveze gradova koji su se priključili, a jedna od njih je izrada Akcijskog plana energetski održivog razvitka grada do 2020. godine [16].

SEAP, između ostalog, pruža uvid u potrošnju energenata za grijanje i pripadajuće emisije CO₂ po sektorima, a dio tih podataka kasnije će biti iskorišten za mapiranje toplinskih potreba i izračun ušteda emisija CO₂ [16].

Zgrade u vlasništvu grada (javne zgrade) koje su analizirane u SEAP-u su vrtić, zgrada gradske uprave, stara škola i komunalno poduzeće. Parametre potrošnje toplinske energije za javne zgrade prikazuje tablica 11 [16].

Tablica 11. Parametri potrošnje toplinske energije za javne zgrade [16]

Energent	Površina [m²]	Potrošnja toplinske energije [kWh]	Specifična potrošnja toplinske energije [kWh/m²]
Lož ulje	2.281	824.466	361,39

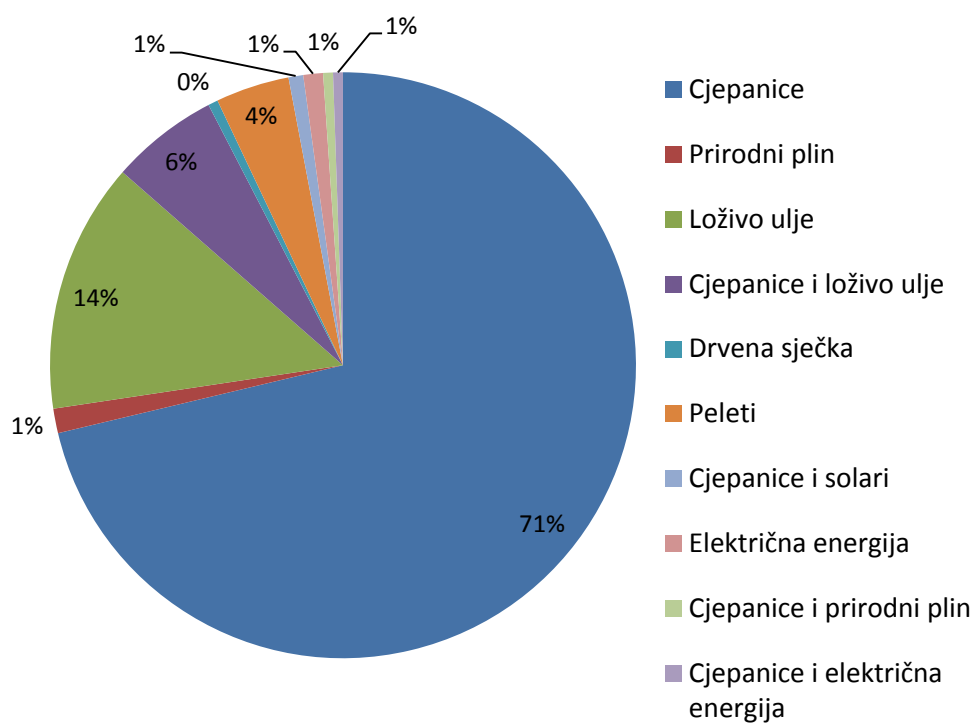
Podsektor komercijalnih i uslužnih djelatnosti, (komercijalne zgrade) prema podacima dobivenim preko računa za naplatu komunalne naknade obuhvaćao je 40.890,26 m². Tablica 12 prikazuje da su i u ovoj kategoriji najzastupljenija fosilna goriva te da je specifična potrošnja također relativno visoka [16].

Tablica 12. Parametri potrošnje toplinske energije u podsektoru komercijalnih zgrada [16]

Energent	Ukupna grijana površina (m²)	Potrošnja toplinske energije (kWh)	Specifična potrošnja (kWh/m²)
Prirodni plin	8.378	1.508.115	180
Lož ulje	12.267	2.208.074	180
Ogrjevno drvo	10.223	1.840.062	180
Električna energija	10.022	1.803.993	180
Ukupno	40.890	7.360.243	180

Najzastupljeniji energenti za pokrivanje toplinskih potreba su fosilna goriva koja štetno utječu na okoliš i zdravlje ljudi. Rješenje za to je veća implementacija OIE u pokrivanju potreba za toplinskom energijom [16].

Stambeni sektor Ozlja analiziran je prema podacima iz anketa zato što one pružaju bolje podatke vezane uz specifičnu potrošnju od SEAP-a. Anketirano je ukupno 390 kućanstva odnosno 17% njihovog ukupnog broja. Slika 17 prikazuje zastupljenost energenata korištenih za grijanje [17].



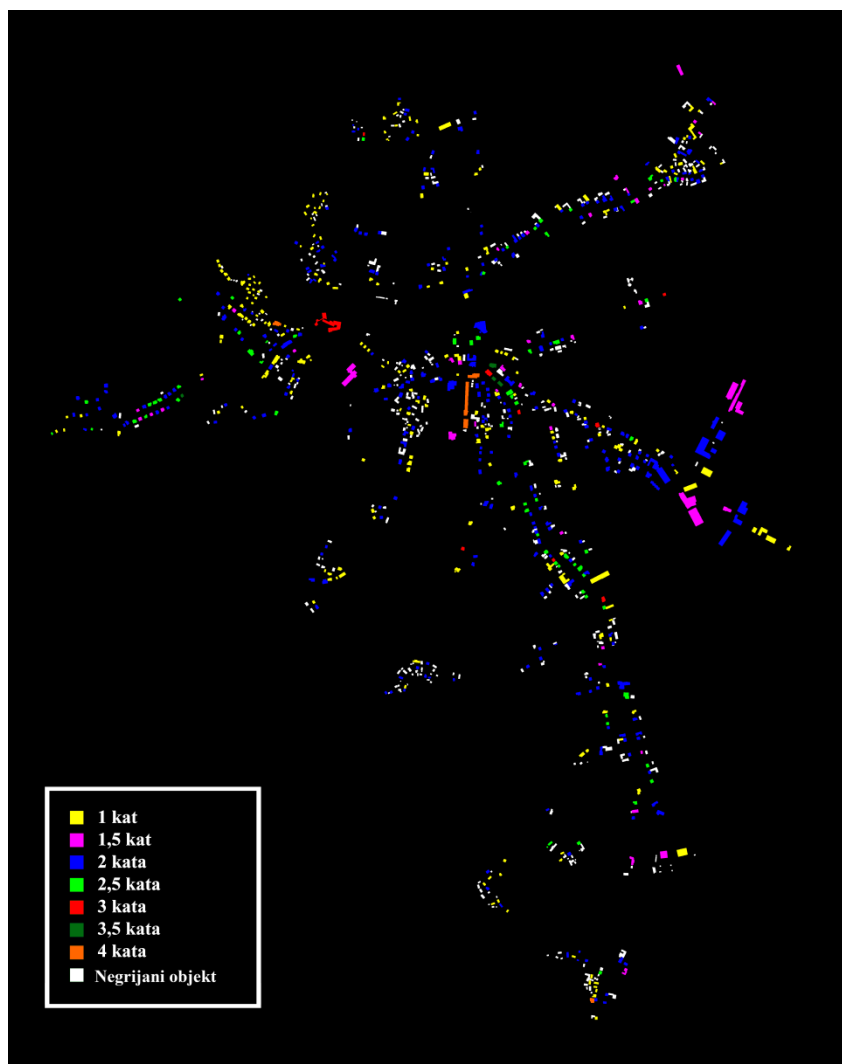
Slika 17. Zastupljenost energenata u stambenom sektoru [16]

5. Rezultati

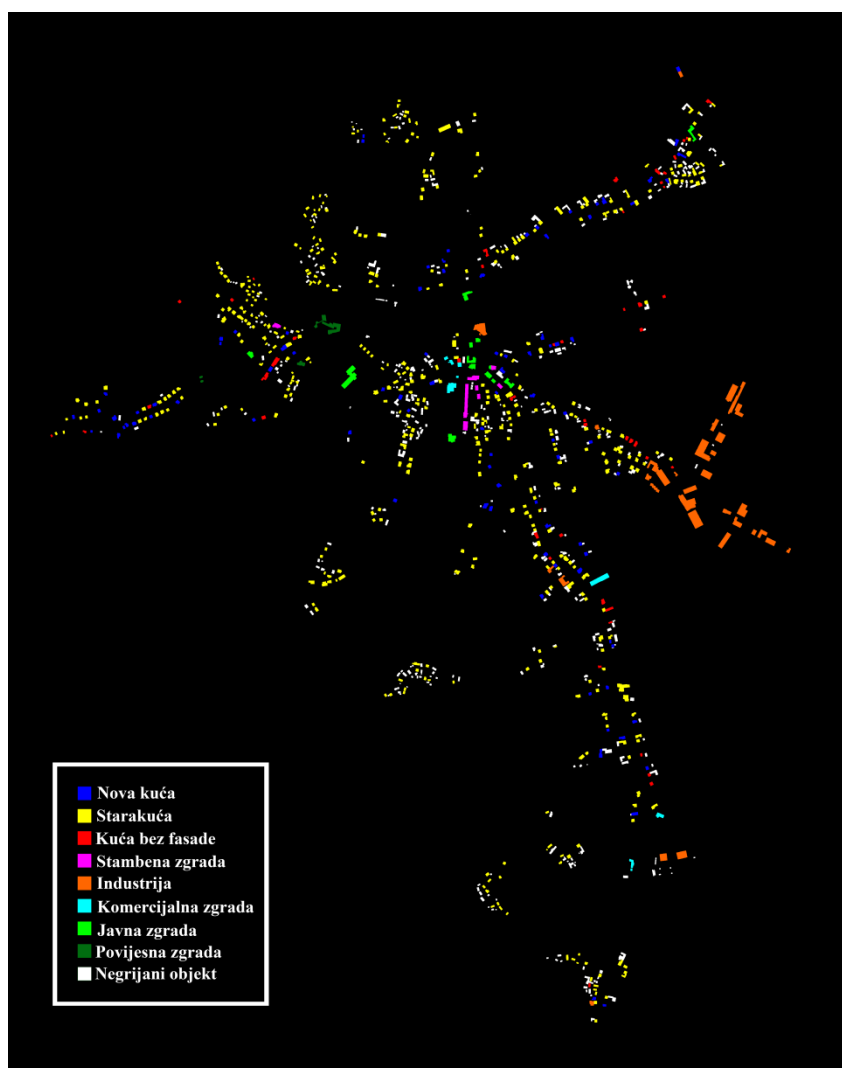
5.1 Rezultati mapiranja toplinskih potreba

Rezultat mapiranja je karta toplinskih potreba koju prikazuje slika 20. Međutim, kako je opisano u poglavlju 3.1 prvo je potrebno izraditi kartu s katovima i kategorijama koje prikazuju slika 18 odnosno slika 19.

Mapiranjem toplinskih potreba obuhvaćeno je 647 objekata, a najveći dio spada u kategoriju stara kuća, čak 68% dok najveći broj objekata ima 2 kata, 45%. Slika 19 pokazuje da je industrija pretežito smještena u istočnom dijelu grada i da su sve stambene zgrade smještene u samom centru grada.

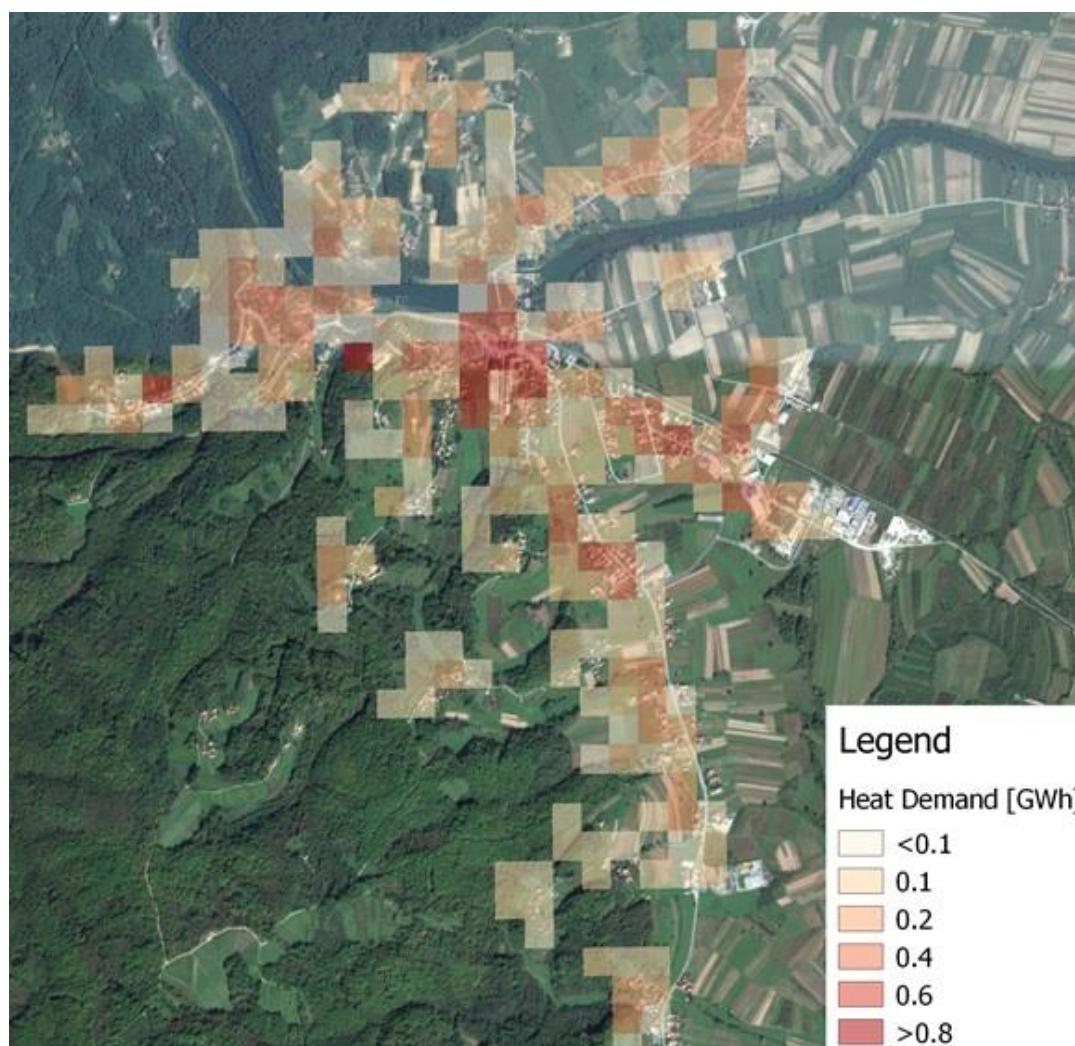


Slika 18. Karta s katovima



Slika 19. Karta s kategorijama

Slika 20 pokazuje da je centar grada područje s najvećim toplinskim potrebama. Takav rezultat je očekivan jer se u centru grada nalaze sve stambene zgrade te veliki potrošači topline kao što su dućani, osnovna škola, dom zdravlja, gradska vijećnica i sl.



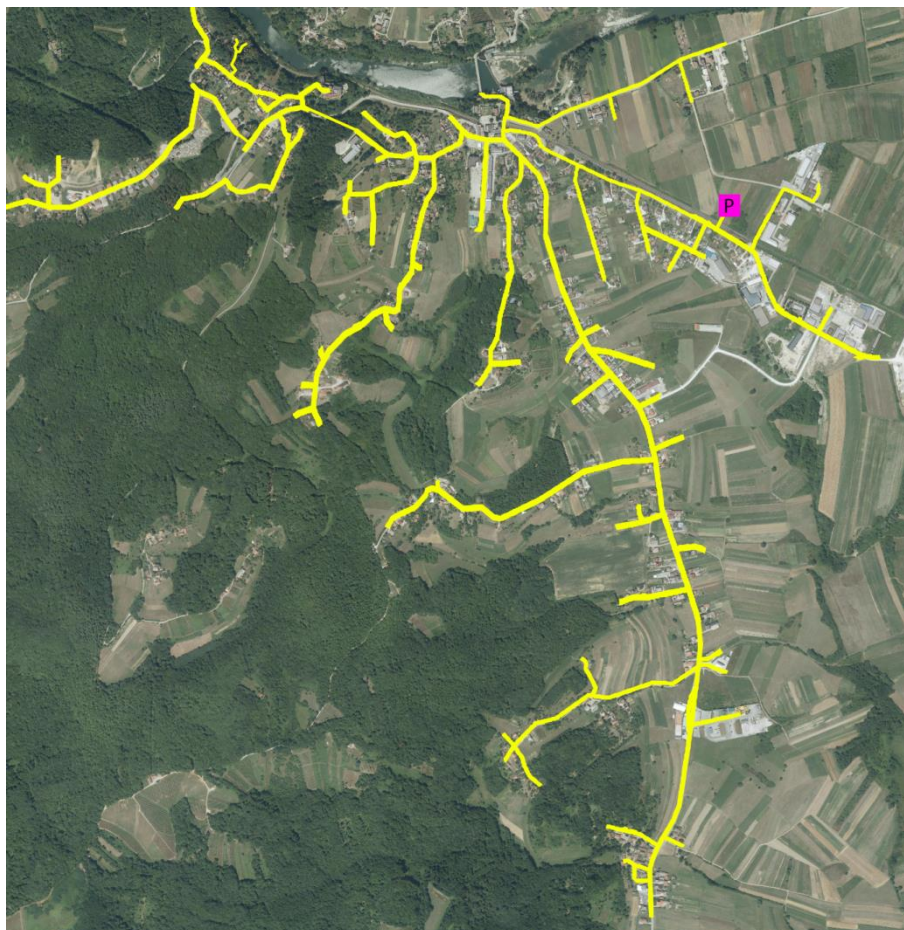
Slika 20. Karta toplinskih potreba

5.2 Scenarijska analiza

Na temelju karte toplinskih potreba (slika 21), kojom su određena polja potreba, predložene su dvije alternativne distribucije. Prva predložena distribucija obuhvaća uži dio grada gdje su toplinske potrebe najveće. Druga distribucija obuhvaća cijelo područje koje prikazuje slika 20, ali bez sjevernog dijela grada preko rijeke Kupe. Dio grada koji se nalazi sjeverno od rijeke Kupe izostavljen je iz ove alternative jer je gustoća toplinskih potreba na području sjeverno od rijeke relativno mala. Nadalje, prilikom eksploatacije toplinski gubici bi bili povećani zbog toga što bi toplovod morao ići preko mosta. Za isplativiju distribuciju provedena je i analiza za hibridno postrojenje.

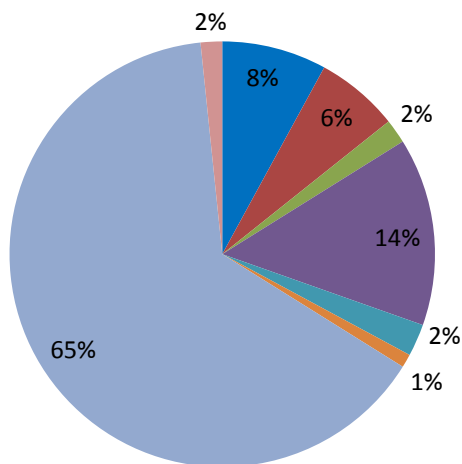
5.2.1 Prva alternativa distribucije

Ova distribucija obuhvaća cijelo mapirano područje južno od rijeke Kupe, kako prikazuje slika 21 na kojoj su zbog preglednosti prikazani samo magistralni toplovodi i proizvodno postrojenje (ljubičasti kvadrat sa slovom P).

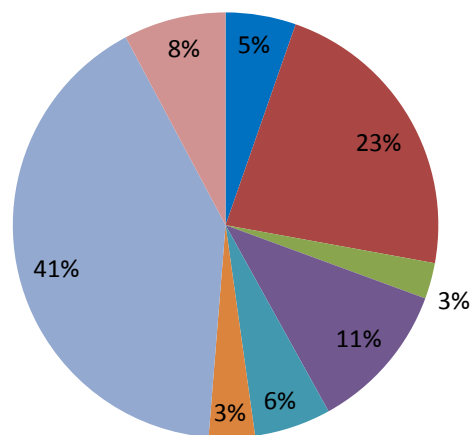


Slika 21. Prva alternativa distribucije

Distribucija koju prikazuje slika 21 dugačka je 16.586,17 m i pokriva toplinske potrebe za grijanjem 490 objekata koji na godišnjoj razni troše 32.033,86 MWh. Građevine zauzimaju bruto površinu od 201.421,81 m². Objekti su razvrstani prema kategorijama koje su navedene u poglavlju 3.1. Slika 22 odnosno slika 23 prikazuju raspodjelu građevina prema kategorijama i bruto površini. Najveći postotak u oba slučaja zauzima kategorija stara kuća. Ta kategorija zauzima malo manje od dvije trećine objekata, odnosno 41% bruto površine. Kategorija stambena zgrada i industrija pokazuju najveće odstupanje u udjelima. U ukupnom broju objekata predstavljaju 2% odnosno 6% dok prema bruto površini zgrade zauzimaju značajniji udio 8% tj. 23%. Ostale kategorije imaju približno slične udjele u oba slučaja.

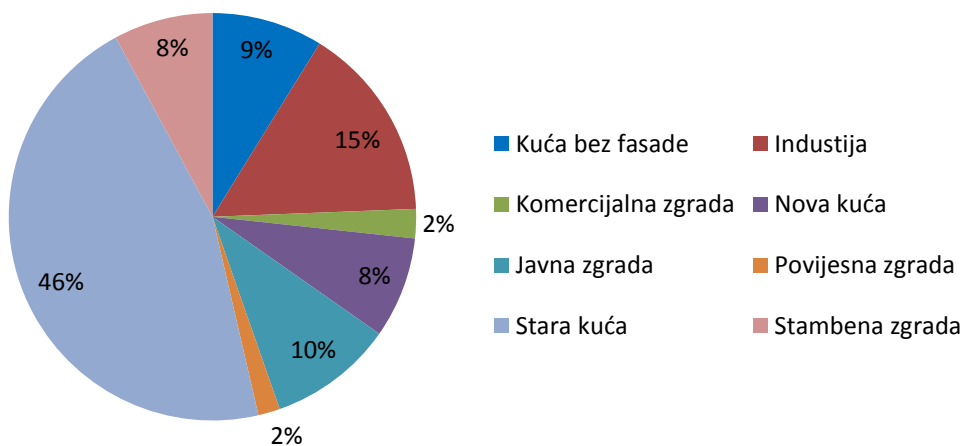


Slika 22. Udio kategorija prema broju objekata prve distribucije



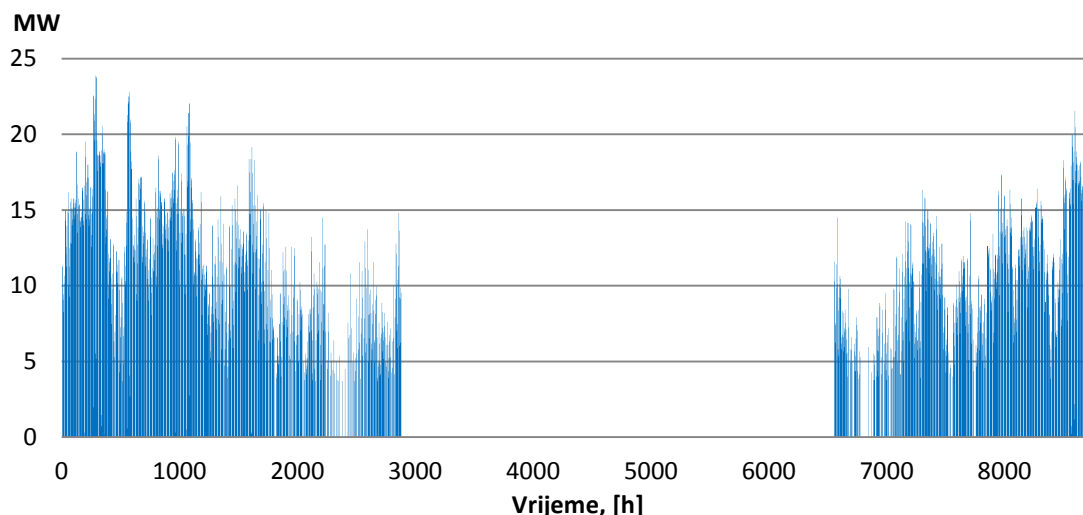
Slika 23. Udio kategorija s obzirom na površinu prve distribucije

Slika 24 prikazuje raspodjelu topline među kategorijama. Iz te slike se vidi da je trend sličan onome koji pokazuje slika 23. Kategorija stara kuća troši najviše topline u Ozlju s 46%, a slijedi ju industrija s 15%. Kategorije javna zgrada, kuća bez fasade, nova kuća i stambena zgrada zauzimaju postotak između 8 i 10% dok povijesna i komercijalna zgrada zauzimaju po 2%.



Slika 24. Udio kategorija s obzirom na toplinske potrebe prve distribucije

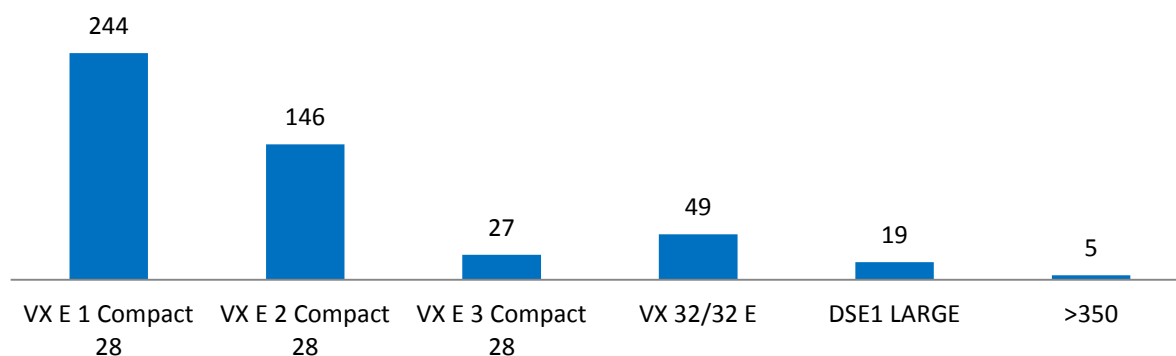
Mapiranjem toplinskih potreba određena je ukupna toplinska energija koju postrojenje treba osigurati za pokrivanje toplinskih potreba objekata. Međutim, zbog toplinskih gubitaka postrojenje mora osigurati nešto više topline, točnije 35.292,59 MWh. Ta vrijednost korištena je u stupanj sat metodi za određivanje nazivne snage postrojenja koja, kako prikazuje slika 25, iznosi 23,85 MW.



Slika 25. Toplinsko opterećenje postrojenja prve alternative u razdoblju jedne godine

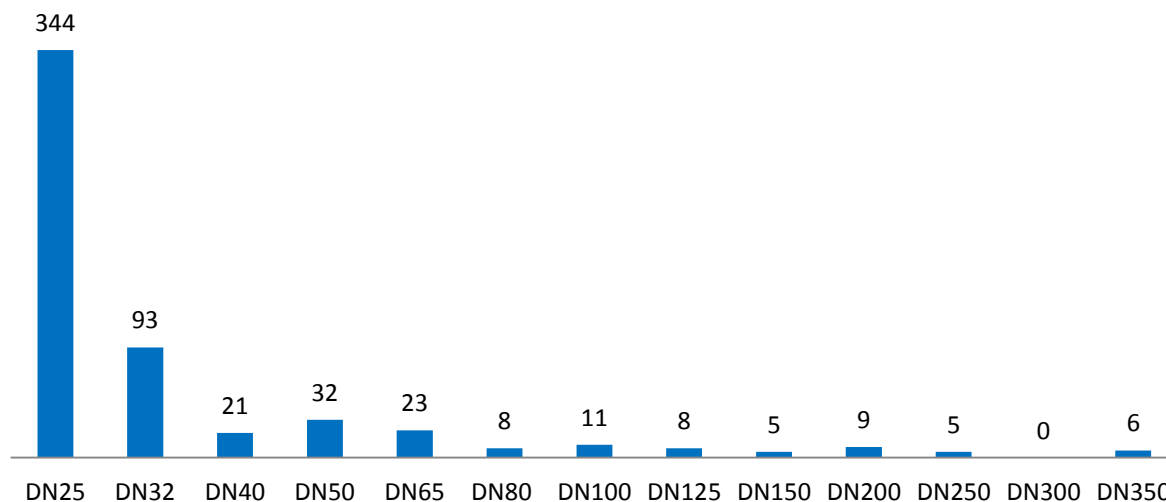
Srednje nazivno specifično toplinsko opterećenje građevine je omjer ukupnog toplinskog opterećenja svih objekata i njihove bruto površine, a u ovom slučaju iznosi 107,5 W/m².

Srednje nazivno specifično opterećenje dodjeljuje se svim građevinama. Umnožak te vrijednosti i bruto površine građevine određuje potrebnu snagu toplinske podstanice. Slika 26 pokazuje zastupljenost pojedinog tipa toplinskih podstanica čije karakteristike prikazuje tablica 7.



Slika 26. Raspodjela toplinskih podstanica prve distribucije

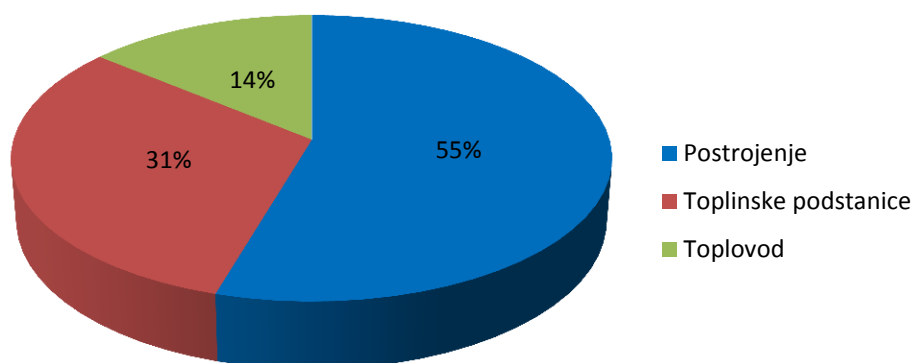
Poznavanjem snage toplinskih podstanica mogu se odrediti tipovi toplovodnih cijevi, a njihovu zastupljenost prikazuje slika 27 dok karakteristike tih cijevi prikazuje tablica 8.



Slika 27. Broj tipova toplovodnih cijevi prve distribucije

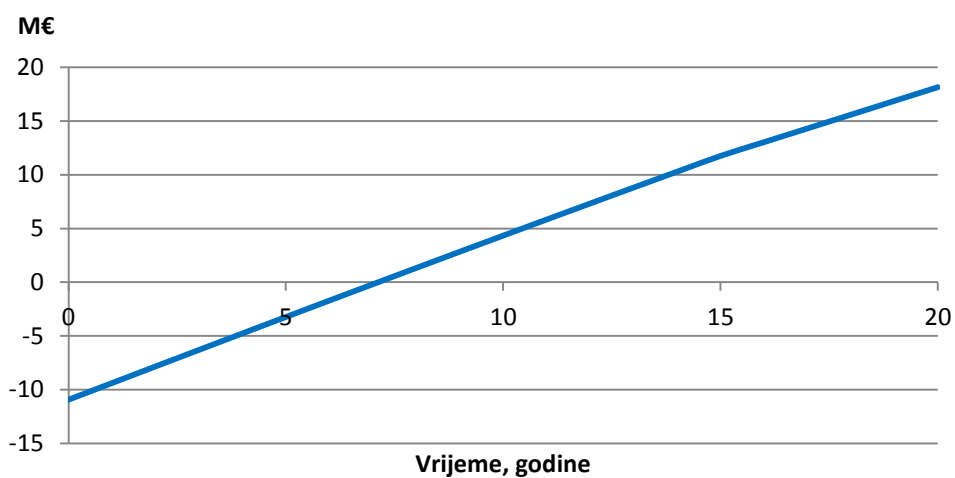
Ukupna duljina toplovoda je 16.586,17 m, a ako se s njom podijeli ukupna toplina koju postrojenje proizvede u jednoj godini dobije se linearna gustoća toplinske energije koja u ovom slučaju iznosi 2.127,83 kWh/m. Toplinski gubici, osim što ovise o promjeru toplovoda i temperaturnom režimu ogrjevnog medija, ovise i o duljini dionice te oni u ovom slučaju iznose 9,23%.

Ukupna investicija za ovu alternativu distribucije iznosi 10.931.032,11 €. Ona se sastoji od investicije u postrojenje, distribucijski sustav i toplinske podstanice. a njihove udjele u ukupnoj investiciji prikazuje slika 28.



Slika 28. Raspodjela troškova investicije prve alternative distribucije

Slika 29 prikazuje novčane tokove tijekom perioda planiranja. Iz nje se vidi da je period povrata investicije 7 godina, 1 mjesec i 14 dana.

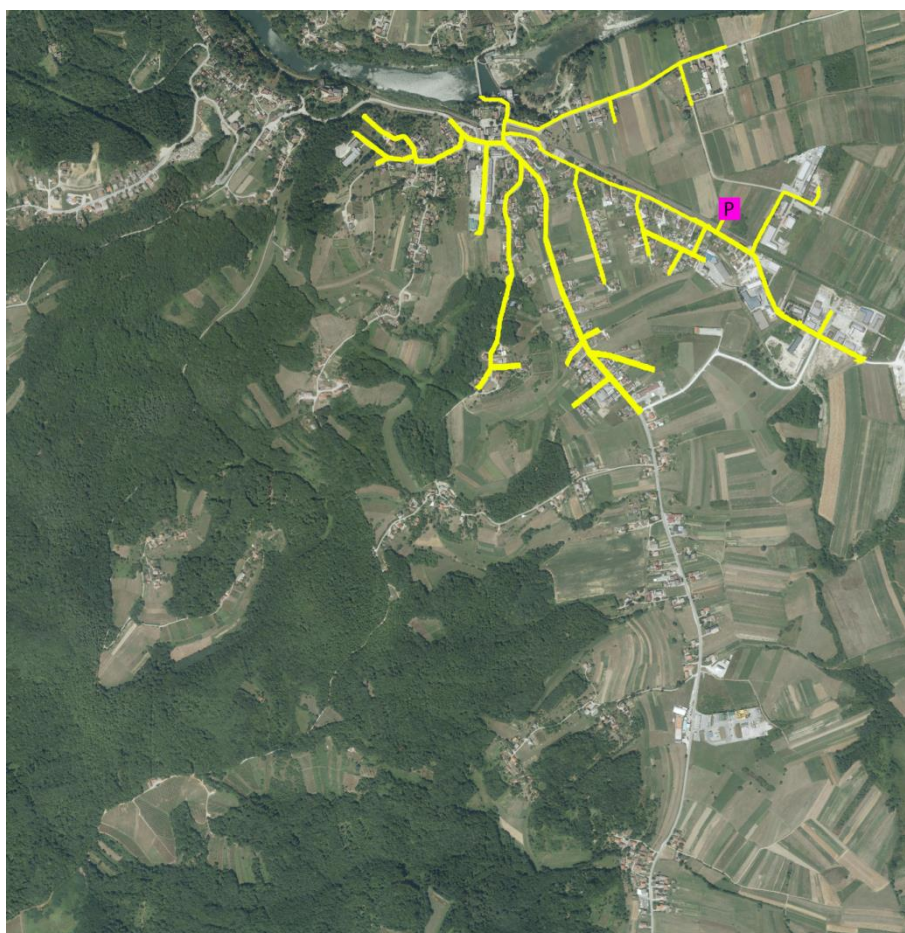


Slika 29. Novčani tokovi tijekom perioda planiranja za prvu alternativu distribucije

Što sve ulazi u prihode i rashode te kako se određuje isplativost alternative distribucije izneseno je u poglavlju 3.2. Sukladno tome zaključuje se da je ova isplativa jer joj NPV iznosi 1.805.920,82 €, a IRR 12,43%.

5.2.2 Druga alternativa distribucije

Ova distribucija obuhvaća uži centar Grada Ozlja budući da je tu prema slici 20 najveća gustoća toplinskih potreba. Slika 30 prikazuje toplovodni sustav, a na njoj su zbog preglednosti ucrtani samo magistralni toplovodi i proizvodno postrojenje (ljubičasti kvadrat sa slovom P). Radi mogućnosti vizualne usporedbe duljine toplovoda korištena je ista veličina pozadine kao i u prethodnoj verziji.

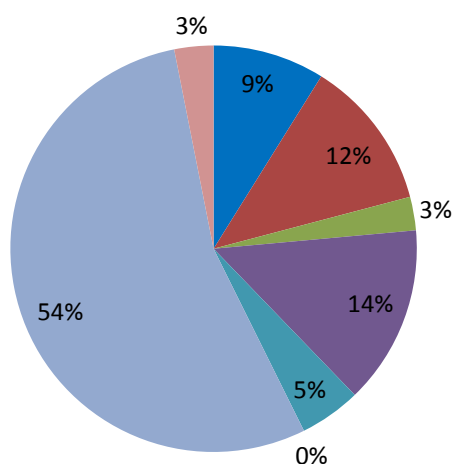


Slika 30. Druga alternativa distribucije

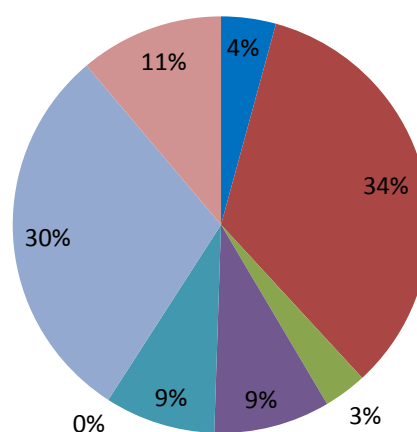
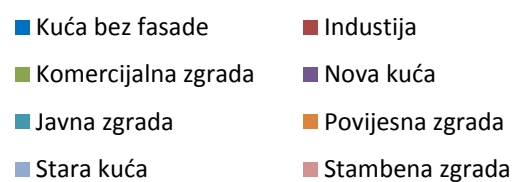
Ova alternativa distribucije pokriva toplinske potrebe za grijanjem 225 objekata koji na godišnjoj razini troše 19.604,29 MWh. Građevine zauzimaju bruto površinu od 124.786.91 m², a razvrstane su prema kategorijama koje su navedene u poglavlju 3.1.

Slika 31 i slika 32 prikazuju postotak koji pojedina kategorija zauzima u odnosu na broj objekata i bruto površinu. Za razliku od prošle alternative, ovdje kategorija stara kuća ne zauzima najveći udio u oba grafa. Ponovno zauzima najveći udio prema broju objekata od 54%, ali u odnosu na bruto površinu zauzima 30% i nalazi se iza industrije koja zauzima 34%.

Nadalje, u ovoj alternativivi ne nalazi se niti jedan objekt koji spada u kategoriju povijesne građevine, a najveću promjenu u udjelu ovih kategorija imaju stambene zgrade i industrija.

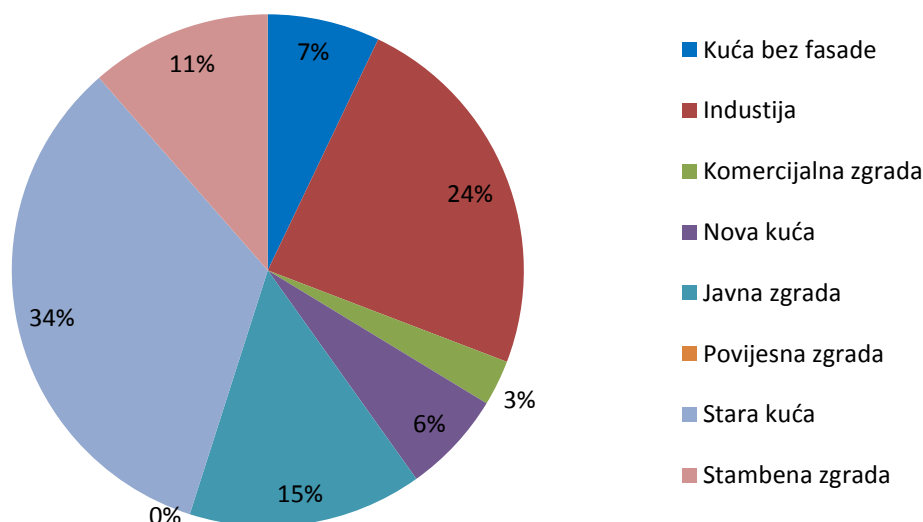


Slika 31. Udio kategorija prema broju objekata druge verzije distribucije



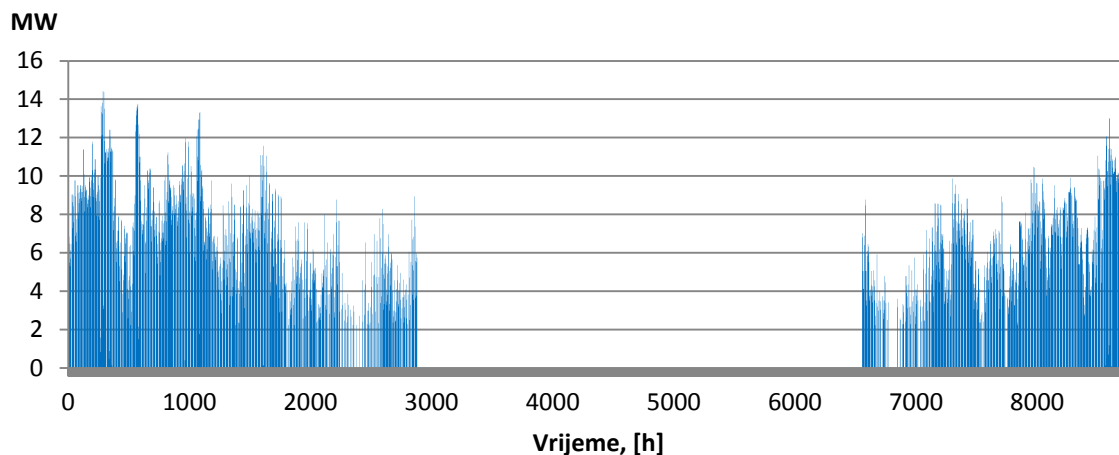
Slika 32. Udio kategorija s obzirom na površinu druge verzije distribucije

Slika 33 prikazuje raspodjelu topline po kategorijama. Najveći postotak zauzima stara kuća s 34%, a slijede ju industrija, javne i stambene zgrade s 24%, 15% odnosno 11%. Ostale kategorije zauzimaju manje značajne udjele koji se kreću u rasponu od 3% do 7%.



Slika 33. Udio kategorija s obzirom na toplinske potrebe druge distribucije

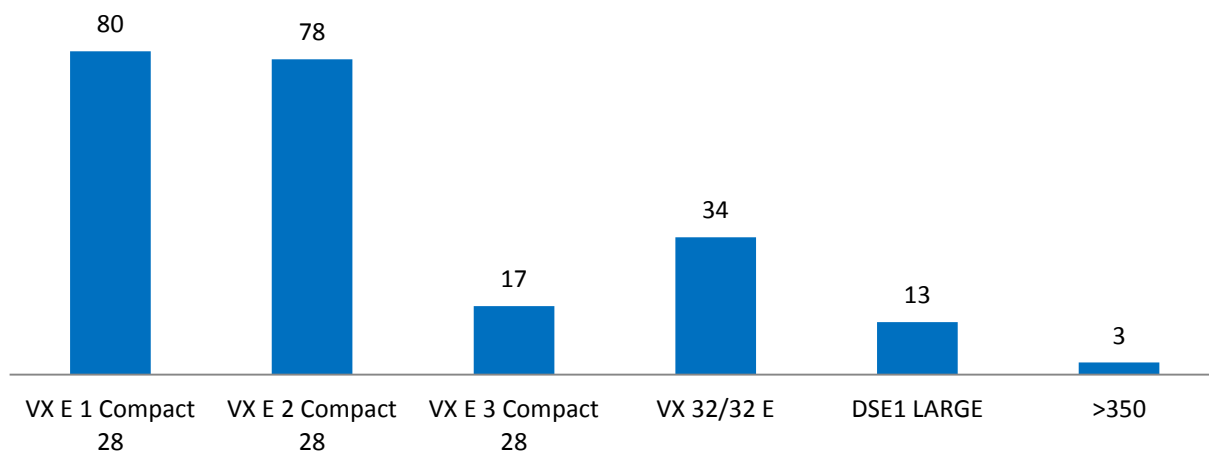
Mapiranjem toplinskih potreba određena je ukupna toplinska energija koju postrojenje treba osigurati kako bi se pokrile toplinske potrebe za grijanje građevina. Budući da su prisutni značajni toplinski gubitci koje je potrebno uzeti u proračun, postrojenje mora osigurati nešto više topline, točnije 21.315 MWh. Toplina dobivena mapiranjem i uvećana za gubitke korištena je u metodi stupanj sat kako bi se odredila nazivna snaga postrojenja. Ona iznosi 14,42 MW, a promjenu toplinskog opterećenja postrojenja prikazuje slika 34.



Slika 34. Toplinsko opterećenje postrojenja druge alternative u razdoblju jedne godine

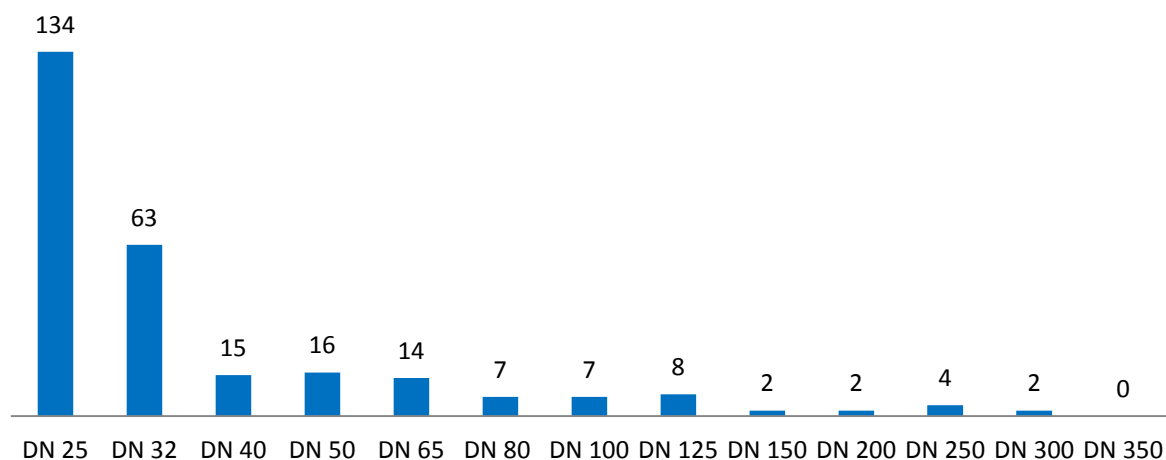
Srednje nazivno specifično toplinsko opterećenje građevina određuje se kako je objašnjeno u potpoglavlju 3.2. Ono iznosi za ovu alternativu $106,3 \text{ W/m}^2$, a u odnosu na prošlu je manje za $1,1 \text{ W/m}^2$ odnosno za otprilike 1%.

Slika 35 prikazuje zastupljenost pojedinog tipa toplinskih podstanica čije karakteristike prikazuje tablica 7. Iz nje se može uočiti da je raspodjela približno slična kao i kod prošle alternative, ali s razlikom da je ovdje broj toplinskih podstanica VX E1 Compact 28 i VX E2 Compact 28 približno sličan.



Slika 35. Zastupljenost tipova toplinskih podstanica

Slika 36 prikazuje zastupljenost pojedinog tipa toplovoda, a karakteristike tih cijevi prikazuje tablica 8.

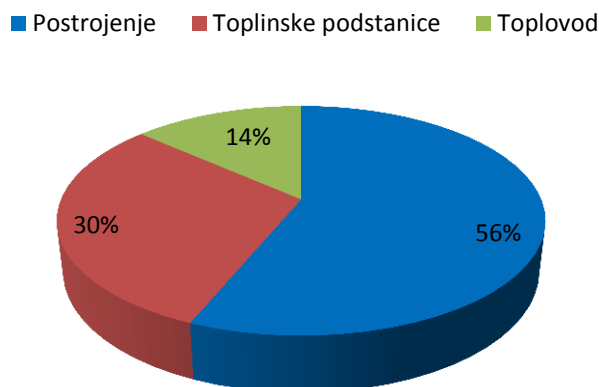


Slika 36. Raspodjela tipova toplovodnih cijevi prve distribucije

Ukupna duljina toplovoda ove distribucije je 8.798,33 m, a linearna gustoća toplinske energije iznosi 2.422,63 kWh/m. Linearna gustoća toplinske energije je nešto veća u ovom slučaju, što je pozitivno jer su zbog toga i toplinski gubici nešto niži te iznose 8,06% ukupne topline koje postrojenje proizvede, tj. manji su za otprilike 1% u odnosu na prvu alternativu.

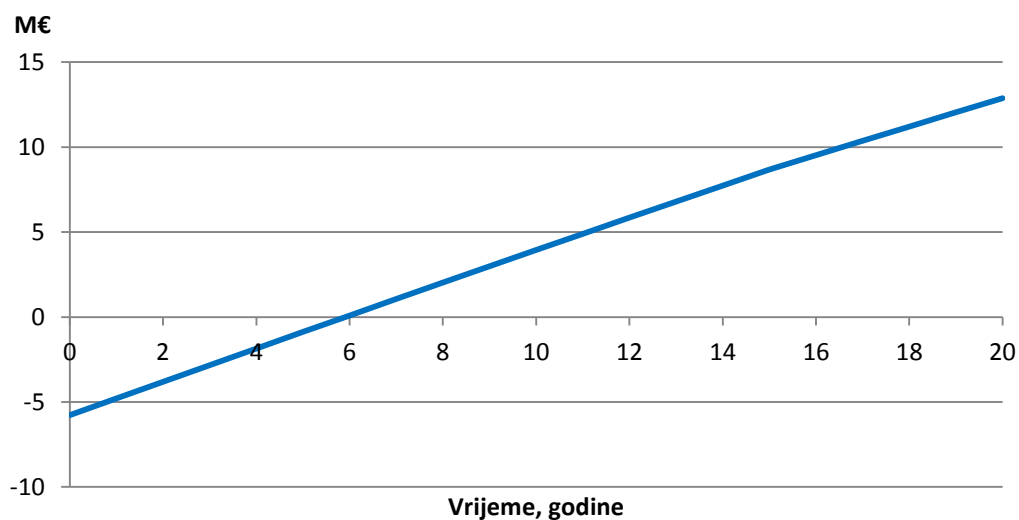
Ukupna investicija za ovu alternativu distribucije iznosi 6.129.248,51 €. Ona se također sastoji od investicije u postrojenje, distribucijski sustav i toplinske podstanice, a njihove

udjele u ukupnoj investiciji prikazuje slika 37. Kao i u prethodnom slučaju i ovdje najveći trošak predstavlja postrojenje, zatim toplinske podstanice, a najmanje toplovod. Međutim, postrojenje u ovoj verziji zauzima malo veći udio u troškovima.



Slika 37. Raspodjela troškova investicije druge distribucije

Slika 38 prikazuje novčani tok tijekom perioda planiranja. Period povrata investicije za ovu alternativu iznosi 6 godina, 2 mjeseca i 20 dana.



Slika 38. Novčani tok tijekom perioda planiranja za drugu alternativu

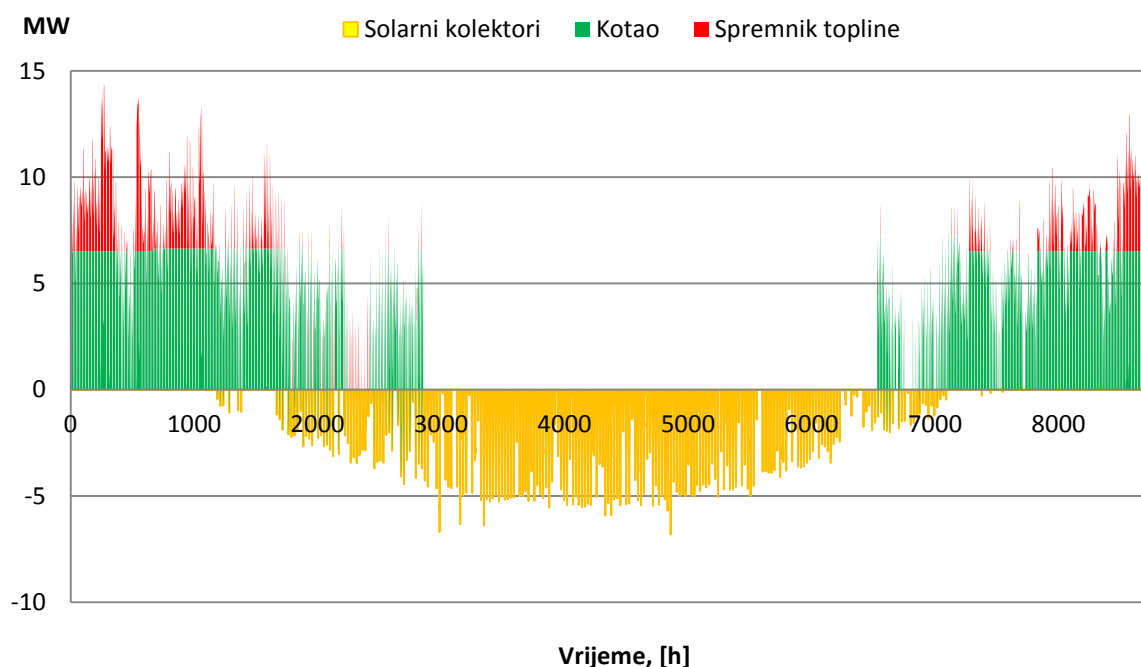
Ova alternativa distribucijskog sustava također zadovoljava oba kriterija isplativosti. NPV iznosi 2.061.363,74 € dok je IRR 14,82%.

Budući da su IRR i NPV druge alternative veći nego li u prvoj, zaključuje se da je ona isplativija i stoga će se ovaj rad dalje bazirati na tom distribucijskom sustavu.

5.2.3 Hibridno postrojenje

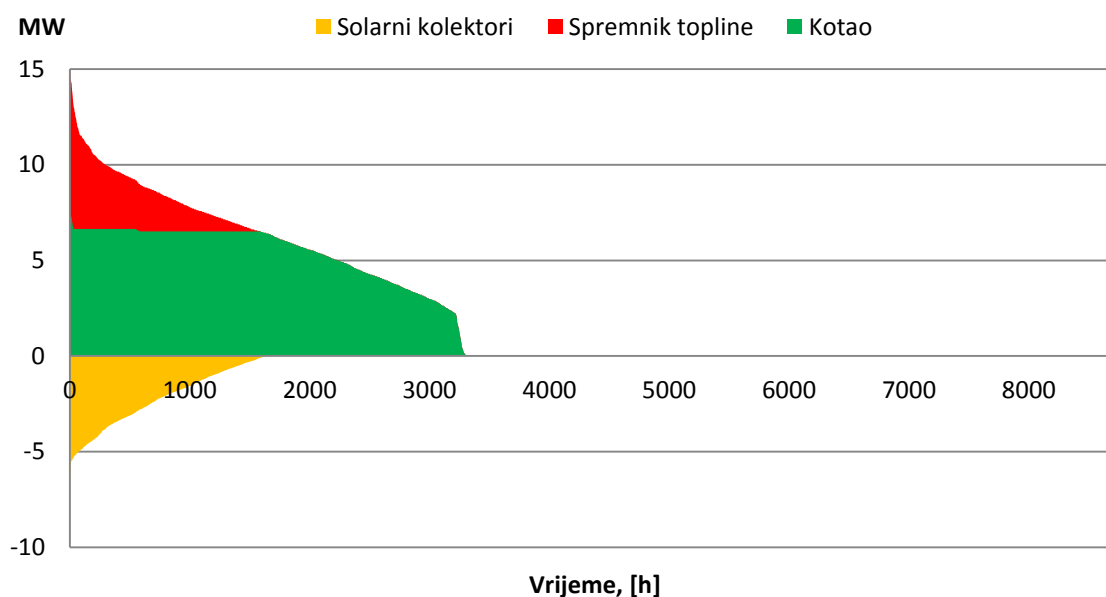
Distribucijski sustav, toplinske podstanice, ukupne toplinske potrebe i njihova raspodjela identične su u ovom poglavlju kao i u poglavlju 5.2.2.

Slika 39 prikazuje iznos toplinskog opterećenja pojedine tehnologije na satnoj razini za razdoblje jedne godine, odnosno 8760 sati. Toplinska energija iz solarnih kolektora cijelo vrijeme se sprema u spremnik. Kako bi se vizualiziralo punjenje spremnika, ona se prikazuje na negativnom dijelu ordinate. Naknadno se iz spremnika pokrivaju vršna toplinska opterećenja, dok se kotao na biomasu koristi za bazno opterećenje.



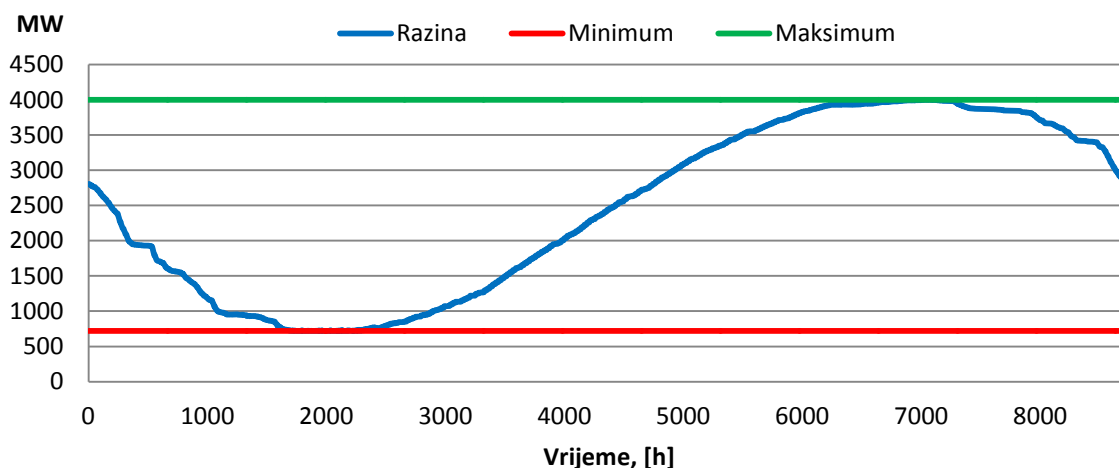
Slika 39. Satno toplinsko opterećenje

Slika 40 prikazuje broj sati koji svaka tehnologija radi pri određenom toplinskom opterećenju. Toplinska energija iz solarnih kolektora cijelo vrijeme se pohranjuje u spremnik topline, a prikazuje se na negativnom dijelu ordinate kako bi se vizualiziralo punjenje spremnika. Kotao na biomasu pokriva bazno opterećenje dok spremnik pokriva vršna opterećenja. Iz tog dijagrama se može odrediti nazivna snaga postrojenja koja za kotao iznosi 7,28 MW, a za solarne kolektore 6,81 MW odnosno specifična snaga solarnih kolektora iznosi $0,681 \text{ kW/m}^2$.



Slika 40. Krivulja trajanja opterećenja

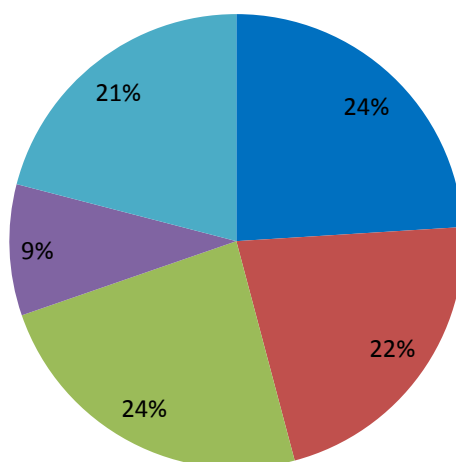
Slika 41 prikazuje promjenu napunjenosti spremnika tijekom godine. Razina u spremniku mijenja se između najmanje i najveće vrijednosti koje iznose 720 MWh odnosno 4.000 MWh. Proces pražnjenja je u sezoni grijanja odnosno između 1. listopada i 30. travnja, a ostatak godine traje punjenje spremnika.



Slika 41. Promjena razine napunjenosti spremnika

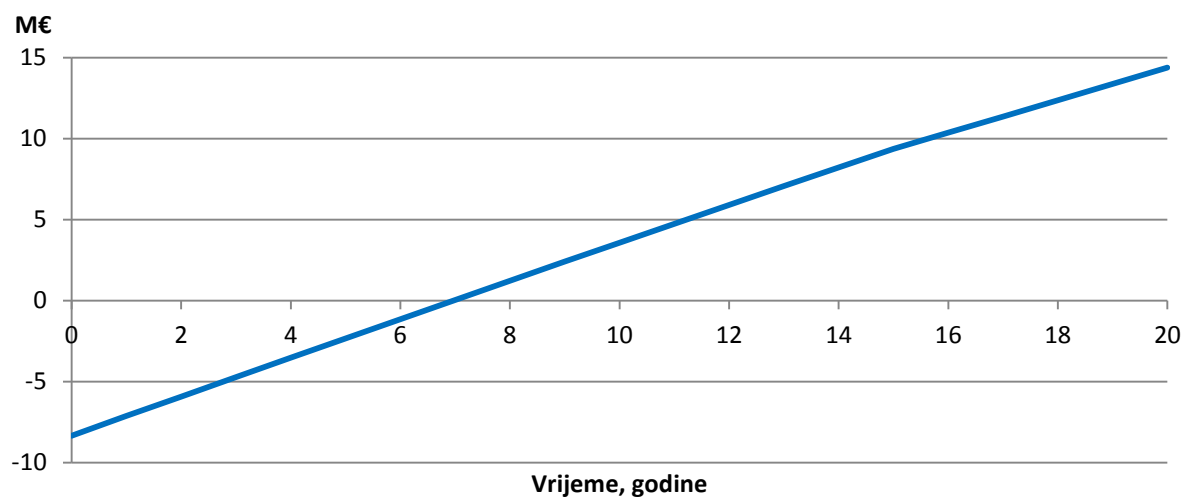
Slika 42 prikazuje raspodjelu investicijskih troškova za ovu vrstu postrojenja. Podjednake udjele u investiciji zauzimaju toplinske podstanice, postrojenje, solarni kolektori i spremnik topline dok distribucijski sustav zauzima najmanji udio.

■ Spremnik ■ Postrojenje ■ Solarni kolektori ■ Distribucijski sustav ■ Toplinske podstanice



Slika 42. Raspodjela investicijskih troškova hibridnog postrojenja

Povrat investicije ove verzije proizvodnog postrojenja približno je 7 godina, a tok novca tijekom perioda planiranja prikazuje slika 43.



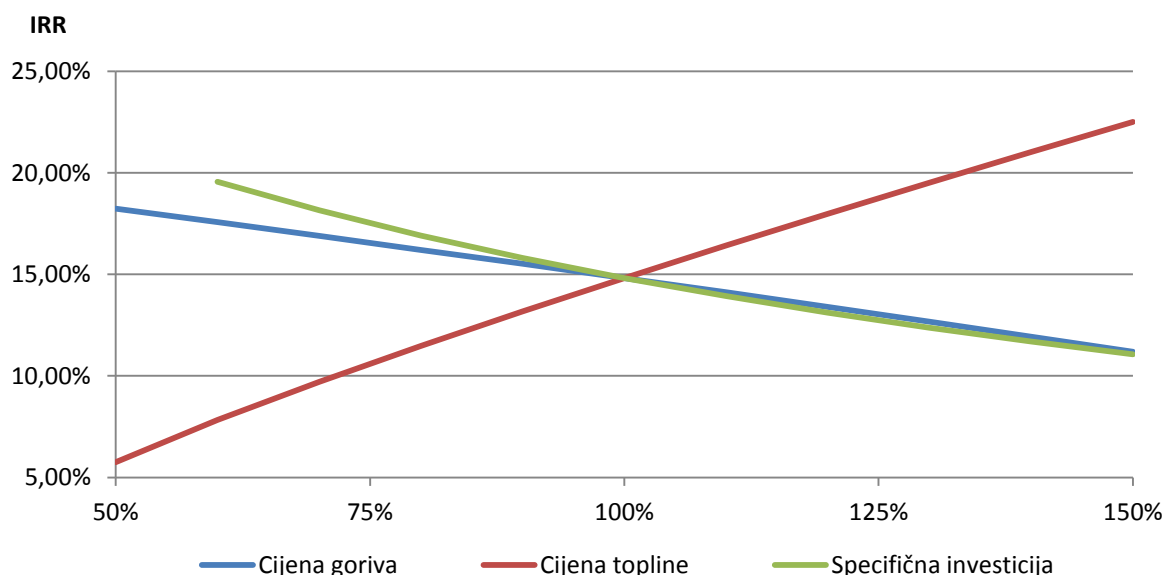
Slika 43. Novčani tok tijekom perioda planiranja za hibridno postrojenje

Ova verzija proizvodnog postrojenja također zadovoljava oba kriterija isplativosti. NPV iznosi 1.610.238,46 €, a IRR 12,83%. Međutim, scenarij s kotlom na biomasu ima veći IRR (14,82%) i NPV(2.061.363,74 €). Stoga je za njega izračunata cijena toplinske energije tako

da NPV bude jednak nuli. Ona iznosi za Ozalj 0,312 kn/kWh, a ostale naknade jednake su onima u Karlovcu [14].

5.3 Analiza osjetljivosti

Scenarij s biomasom koji je obrađen u poglavlju 5.2.2 pokazao se kao najisplativiji. Stoga je za njega provedena analiza osjetljivosti. Cijene topline i goriva korištene u radu iznose 0,4325 kn/kWh odnosno 22,3292 €/MWh, a specifična investicija iznosi 250.000 €/MW. One su varirane u rasponu od 50% do 150%. Slika 44 prikazuje utjecaj promjene cijene goriva (plava krivulja), cijene topline (crvena krivulja) i specifične investicije (zelena) na IRR. Na apscisi se nalazi postotna promjena cijene, a na ordinati se nalazi IRR. Na temelju nagiba krivulje zaključuje se da na osjetljivost projekta ima najveći utjecaj promjena cijene toplinske energije.



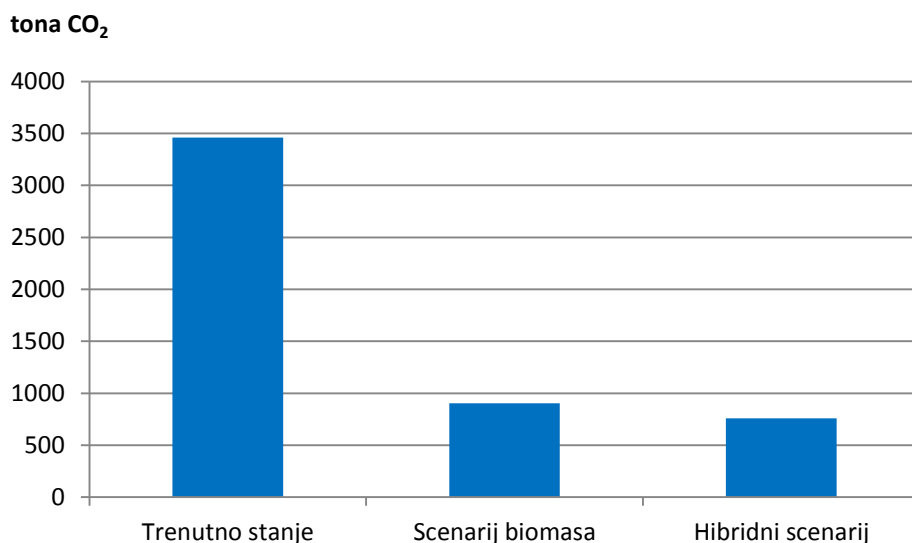
Slika 44. Analiza osjetljivosti

5.4 Ušteda emisija ugljikovog dioksida

Emisije CO₂ računaju se kako je opisano u poglavlju 3.4, a toplina korištena za izračun emisija u svim scenarijima iznosi 21.315,03 MWh. U postojećem stanju, na količinu emisija utječe količina toplinskih potreba i izbor energenta koji se koristi za pokrivanje istih.

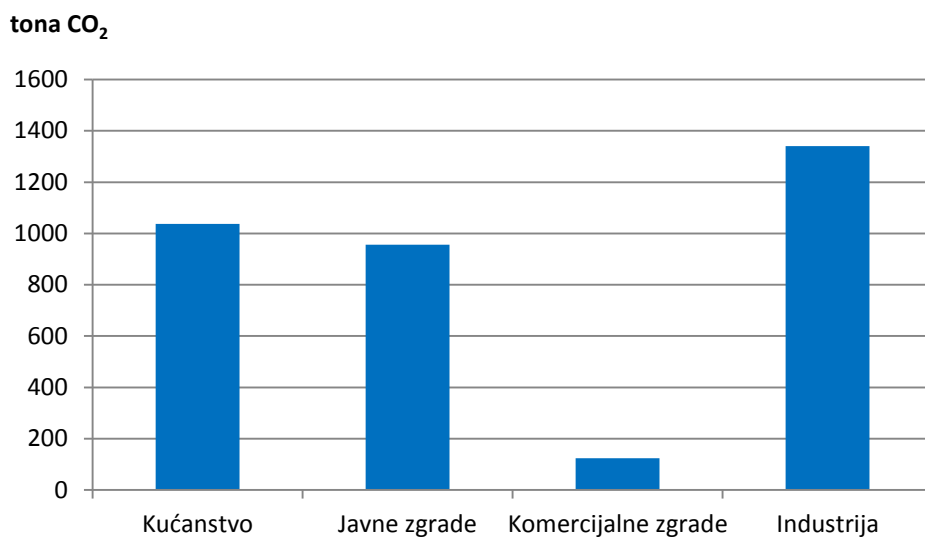
Slika 45 prikazuje kumulativne emisije za tri scenarija, a to su postojeće stanje, postrojenje s biomasom i hibridno postrojenje. Iz slike se vidi da su emisije CO₂ za hibridno postrojenje

najmanje i iznose 757,4 tone CO₂. Međutim, dalje ćemo promatrati samo trenutno stanje i postrojenje na biomasu jer je ono najisplativiji scenarij.



Slika 45. Količina emisija za sva tri scenarija

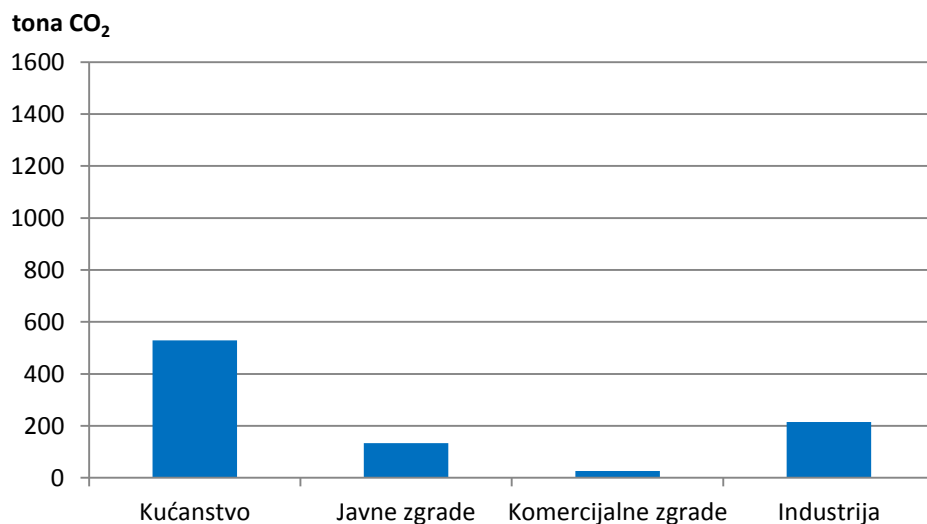
Slika 46 prikazuje emisije CO₂ na godišnjoj razini. Iz nje se vidi da je industrija najveći zagađivač s malo manje od 1.400 tona CO₂, a slijede ju kategorije kućanstvo i javne zgrade, svaka s otprilike 1.000 tona, dok su emisije komercijalnih građevina približno 100 tona. U trenutnom stanju se u atmosferu ispusti 3.459,88 tona CO₂.



Slika 46. Količina emisija CO₂ prema kategorijama u postojećem stanju

Slika 47 prikazuje emisije CO₂, ali u ovom slučaju za postrojenje na biomasu gdje ukupna količina emisija CO₂ iznosi 902,69 tona. Iz nje se može uočiti da su emisije značajno

smanjene. Kategorija kućanstvo u ovom slučaju ima otprilike 50% niže emisije. One su još značajnije snižene u ostalim kategorijama. Smanjenje za kategoriju javnih zgrada iznosi 80%, a za industriju i komercijalne zgrade oko 85%. Kumulativno smanjenje emisija iznosi 74% odnosno 2.557,2 tone CO₂.



Slika 47. Količina emisija CO₂ prema kategorijama u predloženom scenariju

6. Zaključak

U sklopu ovog rada provedena je tehnoekonomska analiza CTS-a u Ozlju. Mapiranjem toplinskih potreba izrađena je karta na temelju koje su predložene i analizirane dvije verzije distribucijskog sustava. Za isplativiju verziju provedena je scenarijska analiza s dva scenarija. Prvi scenarij proizvodi toplinu isključivo koristeći kotao na biomasu. Nadalje, drugi scenarij koristi kotao na biomasu za pokrivanje baznih potreba, a za vršne potrebe koristi sinergiju solarnih kolektora i spremnika topline.

Prva distribucija pokriva cijelo mapirano područje, ali bez dijela grada preko rijeke Kupe te zadovoljava toplinske potrebe 490 građevina. Druga verzija distribucije pokriva centar grada i industrijsku zonu jer su tamo najveće toplinske potrebe, a obuhvaća 225 građevina.

Druga distribucija (5.2.2) pokazala se kao isplativija i stoga je za nju provedena scenarijska analiza, a najisplativiji scenarij koristi samo kotao na biomasu za pokrivanje toplinskih potreba. Tarifna stavka toplinske energije, izračunata tako da je NPV jednak nuli, iznosila bi za građane Ozlja 0,312 kn/kWh, a ostale naknade bi bile jednake onima u Karlovcu [14]. Cijena toplinske energije u gradu Ozlju bila bi niža od prosjeka EU (0,489 kn/kWh) i Hrvatske (0,343 kn/kWh) [7]. Smanjenje emisija CO₂, u odnosu na postojeće stanje najveće je u scenariju s hibridnim postrojenjem te iznosi 78,11% dok smanjenje u scenariju s biomasom iznosi 74%.

Prema tome, izgradnja CTS-a u gradu Ozlju isplati iz više razloga: građanima bi se omogućila sigurna opskrba toplinskom energijom pri pristupačnim cijenama, a također bi se otvorila nova radna mjesta za građane Ozlja. Nadalje, ovakva opskrba toplinom imala bi i pozitivne učinke na okoliš sa stanovišta emisija CO₂ te bi pridonijela energetskej neovisnosti Republike Hrvatske.

ZAHVALA

Ovaj rad je izrađen u sklopu projekata CoolHeating (ugovor broj 691679) i Heat Roadmap Europe (ugovor broj 695989) financiranih od strane Europske Komisije kroz program Obzor 2020.

LITERATURA

- [1] “Kyoto protokol.” [Online]. Available:
http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETIKA_I_OKOLIŠ#Kyoto_protokol.
- [2] *Summary of GHG Emissions for Croatia, United Nations.* .
- [3] “Kyoto protokol.” [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/Kyoto_Protocol.
- [4] “Paris Agreement.” .
- [5] “Paris Agreement.” [Online]. Available:
https://en.wikipedia.org/wiki/Paris_Agreement.
- [6] “2050 low-carbon economy.” [Online]. Available:
http://ec.europa.eu/clima/policies/strategies/2050_en.
- [7] “Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions on an EU Strategy for Heating and Cooling,” 2016.
- [8] “An EU Strategy on Heating and Cooling, Brussels,” 2016.
- [9] U. P. c D. Connolly a, n, H.Lund b, B.V.Mathiesen a, S.Werner c, B.Möller b and S. N. T.Boermans d, D.Trier e, P.A.Østergaard b, “Heat Roadmap Europe: Combining district heating with heat savings to decarbonise the EU energy system,” 2013.
- [10] Svend Frederiksen i Sven Werner, *District Heating and Cooling*. 2015.
- [11] G. Phetteplace, *District heating guide*. ASHRAE, 2013.
- [12] B. V. M. Henrik Lunda, Sven Werner b, Robin Wiltshirec, Svend Svendsend, Jan Eric Thorsene, Frede Hvelplunda, “4th Generation District Heating (4GDH): Integrating smart thermal grids into future sustainable energy systems.”
- [13] “Small, Modular and Renewable District Heating & Cooling Grids for Communities in South-Eastern Europe.”
- [14] *Energija u Hrvatskoj 2013 - godišnji energetske pregled*. Institut Hrvoje Požar, 2014.
- [15] “Coolheating map.” .
- [16] “Survey on the energy consumption and attitudes towards renewable heating and cooling in the CoolHeating target communities.”

-
- [17] "AKCIJSKI PLAN ENERGETSKI ODRŽIVOG RAZVITKA GRADA OZLJA."
- [18] "Assessing the cost effectiveness of individual metering: Energy demand benchmarks," 2014.
- [19] "Matlab 2016a." .
- [20] "Geoportal." [Online]. Available: <https://geoportal.dgu.hr/>.
- [21] "Adobe Photoshop CC." .
- [22] "QGIS." [Online]. Available: <https://www.qgis.org/>.
- [23] "Meteonorm." [Online]. Available: <http://www.meteonorm.com/>.
- [24] R. Z. Dominik Rutz, Christian Doczekal and L. L. J. Morten Hofmeister, *Small Modular Renewable Heating and Cooling Grids A Handbook*. 2017.
- [25] The Danish Energy Agency and Energinet.dk, *TECHNOLOGY DATA FOR ENERGY PLANTS*. 2012.
- [26] REGEA, "Priručnik o gorivima iz drvne biomase."
- [27] *ISOPLUS katalog*. .
- [28] S. T. V. Thomas Nussbaumer, "Sensitivity of System Design on Heat Distribution Cost in District Heating," Zürich, 2014.
- [29] "Faktori primarne energije."
- [30] "HBOR, kreditiranje EU projekata javnog sektora." [Online]. Available: https://www.hbor.hr/kreditni_program/kreditiranje-eu-projekata-javnog-sektora/.
- [31] A. Puška, "ANALIZA OSJETLJIVOSTI U FUNKCIJI INVESTICIJSKOG ODLUČIVANJA," Brčko.

PRILOZI

I. CD-R disc